



**ESTRATEGIAS DE AMORTIGUACIÓN TÉRMICA BASADAS EN SISTEMAS VEGETALES:
SIMULACIÓN DE CUBIERTAS VEGETALES DE USO EXTENSIVO MEDIANTE ENVI-MET EN LA
BARRIADA “REMEDIOS EL VIEJO” EN LA CIUDAD SEVILLA, ESPAÑA**

CRISTIAN DANILO HERNÁNDEZ LÓPEZ

Arquitecto

DIRECTORES:

DRA. CARMEN GALÁN MARÍN

DR. JORGE ROA FERNÁNDEZ

VICTORIA PATRICIA LÓPEZ CABEZA



RESUMEN

Durante los últimos años están siendo más evidentes los efectos que como sociedad estamos viviendo fruto del cambio climático. Es así como según estudios del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático han manifestado que como resultado de estos cambios la temperatura del aire está cada vez más en aumento. Actualmente se está calculado un incremento del 0.7 °C anual. Lo cual requerirá a las ciudades generar estrategias que permitan reducir los efectos de la subida de las temperaturas.

Es aquí donde las soluciones vegetales o soluciones basadas en la naturaleza (Nature Based Solutions) surgen como respuesta a los cambios que actualmente tenemos en nuestra sociedad, de esta manera se abarca el estudio de estos en el presente trabajo de fin de máster. En primera manera se desarrolla el estudio de sistemas vegetales sobre la generación de microclimas urbanos, en el cual se detallan los sistemas constructivos y tecnológicos disponibles en la actualidad. Esto mediante el estudio puntual de cubiertas vegetales que se encuentran hoy en día en la ciudad de Sevilla.

Dentro de los aspectos importantes que se encontraron al momento de implementar una cubierta vegetal fueron: el estudio del clima donde se va a ubicar la cubierta, así como de la pluviometría, este último factor es importante debido a la selección del sistema de irrigación a implementar. Por último, encontramos el uso que a esta se le pretende dar, de esta forma se puede definir el sistema vegetal óptimo a utilizar.

Esta estrategia de resiliencia ha sido pionera en Alemania, y ha sido replicada en países como Japón, Canadá, Singapur, etc. En esta investigación, mediante la simulación de estos sistemas vegetales se ha logrado comprobar que en la ciudad de Sevilla estos sistemas son viables, además de generar resiliencia urbana, mediante la generación de microclimas urbanos.

En concreto se realizó el estudio sobre la barriada “Remedios el viejo”, localizado en el distrito Triana-remedios de la ciudad de Sevilla. Mediante el software de simulación ENVI-met 4.4.6, se desarrollaron ocho simulaciones en dos escenarios diferentes. Estos dos escenarios eran en un bloque y en los nueve bloques que hacen parte de esta barriada.

Además, se ha logrado encontrar que mediante la masificación de estos sistemas vegetales se puede lograr la generación de islas verdes que logran contrastar el alza de las temperaturas generadas por el fenómeno de la isla de calor urbano. Este fenómeno es característico debido a que aumenta en las ciudades las temperaturas, al mismo tiempo que aumenta el consumo energético para poder mantener estas en confort.

PALABRAS CLAVES

Isla de Calor; Sistemas vegetales; Cubiertas verdes; Fachadas verdes; Resiliencia urbana; ENVI-met

SUMMARY

In recent years, the effects that we are experiencing as a society because of climate change have become more evident. Thus, according to studies by the intergovernmental group of experts on climate change, it has been stated that because of these changes, the air temperature is increasing. An annual increase of 0.7 °C is currently being calculated. This will lead cities to necessarily generate strategies that would reduce the effects of rising temperatures.

It is here where greenery systems arise in response to the changes that we currently have work on in our society, in this way the study of these is covered in the present end of the master's degree. In the first way, the study of greenery systems on the generation of urban microclimates is developed, in which the construction and technological systems available today are detailed. This through the specific study of green roofs that are found today in the city of Seville.

Among the important aspects that were found at the time of implementing green roofs were: the study of the climate where the cover is going to be located, as well as the rainfall, this last factor is important due to the selection of the irrigation system to implement. Finally, we find the use that it is intended to give, in this way the optimal plant species to be use can be defined.

Germany has been a pioneer in this resilience strategy, and has been replicated in countries such as Japan, Canada, Singapore, etc. In this research, through the simulation of these roof systems, it has been possible to verify that in the city of Seville these systems are viable, in addition to generating urban resilience, through the generation of urban microclimates.

Specifically, a study was carried out on the "Remedios El Viejo" neighborhood, located in the Triana-Remedios district of the city of Seville. In this, using the ENVI-met 4.4.6 simulation software, eight simulations will be developed in two different scenarios. These two scenarios were in one block and in the nine blocks that are part of this neighborhood.

In addition, it has been found that through the massification of these plant systems, the generation of green islands can be achieved that manage to contrast the rise in temperatures generated by the phenomenon of the urban heat island. This phenomenon is characteristic since temperatures increase in cities, while energy consumption rises to be able to keep them in comfort.

KEYWORDS

Heat Island; Greenery systems; Green roof; NBS Nature Based Solutions; Urban resilience; ENVI-met

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	OBJETIVOS Y METODOLOGIA	9
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	9
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	9
2.3	METODOLOGIA	10
3.	ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	13
3.1	PROBLEMÁTICA ACTUAL	13
3.1.1	EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	14
3.1.2	ISLA DE CALOR URBANA (URBAN HEAT ISLAND UHI).....	15
3.1.3	HUELLA ECOLOGICA EN EDIFICACIONES	16
3.2	SISTEMAS VEGETALES (GREENERY SYSTEMS)	18
3.2.1	SISTEMA DE FACHADAS VEGETALES.....	19
3.2.2	SISTEMAS DE CUBIERTAS VEGETALES	23
3.2.3	EMPRESAS EN ESPAÑA	30
3.3	EFFECTOS TERMICOS	40
3.3.1	CASO 1, SINGAPUR.	40
3.3.2	CASO 2, SYDNEY – RIO DE JANEIRO.	42
3.3.3	CASO 3, ROMA (ITALIA)	44
3.3.4	CASO 4, LJUBLJANA, ESLOVENIA	46
3.3.5	CASO 5, BELGRADO, SERBIA [68].....	49
3.3.6	ANALISIS DE CONCLUSIONES.....	51
4.	CIUDAD DE ESTUDIO	54
4.1	CLIMA MEDITERRÁNEO DE SEVILLA, ESPAÑA	54
4.2	SISTEMAS DE CUBIERTAS VEGETALES EN SEVILLA	59
4.3	CASO DE ESTUDIO “REMEDIOS EL VIEJO”	67
4.3.1	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CUBIERTA VEGETAL A SIMULAR	76
5.	SIMULACIONES DE MICROCLIMAS URBANOS.....	79
5.1	CONFIGURACIÓN DE LAS SIMULACIONES.....	80
5.2	SIMULACIÓN ENVI-GUIDE	81
5.2.1	SIMULACION DE MICROCLIMA URBANO GENERADO POR EL USO CUBIERTAS VEGETALES	82
5.3	COMPARATIVA Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
6.	CONCLUSIONES.....	110
6.1	FUTURAS LÍNEAS DE INVVESTIGACIÓN	112
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	114
7.1	REFERENCIAS DE FIGURAS	122
7.2	REFERENCIAS DE TABLAS	124
8.	ANEXOS.....	127

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se están haciendo más palpables las diferentes consecuencias que está teniendo el planeta Tierra a causa de décadas de desarrollo insostenible[1]. Una de estas consecuencias es el aumento en las temperaturas urbanas[2]. Este aumento está produciendo que las ciudades sean menos habitables y más vulnerables a los cambios producidos por la situación actual. Este hecho se ha empezado a ver con preocupación por los expertos[3].

Es así como actualmente las ciudades se encuentran enfrentando nuevos retos tanto ambientales como sociales que se han ido incrementando cada vez más, dentro de estos se encuentran: Las olas de calor que están más concurrentes en periodo de verano, derivadas del cambio climático y fenómeno de la isla de calor urbana[4]. La limitación del suelo en las ciudades para el desarrollo de espacios verdes, debido al rápido proceso de urbanización de estas[5]. Al igual que la baja cohesión social donde los espacios de convivencia y reconexión con lo natural cada vez son más escasos[6].

Paralelamente se han empezado a implementar diferentes respuestas de mitigación que permitan a las ciudades a afrontar estos cambios y generar resiliencia ante estos. Una de estas soluciones es denominada como los *sistemas vegetales*, éstos son conocidos por que tienen múltiples efectos a favor de las ciudades: Creación de espacios que fomentan la biodiversidad en las ciudades[7]. Servir como aislamiento de las edificaciones existentes[8]. Reducir la contaminación mediante la absorción de CO₂, al igual que el ruido presente en las ciudades[9].

Este trabajo estará orientado en lograr demostrar que, mediante el uso de sistemas vegetales en las envolventes de las edificaciones existentes en Sevilla, se puede lograr reducir la temperatura del aire, y aumentar la humedad relativa en las ciudades. Al igual que mediante la replicación de estos sistemas se puede lograr ampliar este efecto a nivel ciudad, lo que contribuiría a la reducción de las temperaturas a nivel urbano y contrarrestar los efectos producidos por la isla de calor urbano.

Por un lado, se realiza el estudio de los efectos de los sistemas vegetales en la generación de microclimas urbanos, al igual que los sistemas constructivos y tecnologías que hoy en día se encuentran disponibles para su desarrollo. En la búsqueda de ejemplos sobre el desarrollo actual de sistemas vegetales en cubierta en Sevilla, se encontraron cuatro ejemplos que permitieron analizar la viabilidad de estos en la ciudad.

De la misma manera, se realiza un estudio del clima mediterráneo presente en la ciudad de Sevilla, selección de una barriada representativa, para poder ser replicada a nivel local posteriormente. En este caso se ha seleccionado la barriada de “Remedios el viejo”, construcción realizada en la década de los 40, la cual cuenta con tres plantas y en la que actualmente presenta estudios de rehabilitación y adaptación. De esta forma la aplicación de sistemas vegetales de forma virtual permitirá desarrollar la hipótesis anterior.

Con respecto al sistema vegetal a simular, se ha seleccionado el sistema extensivo, ya que este representa menos peso a la estructura existente. La construcción de este sistema es la

de más bajo costo con respecto a las otras presentes en el mercado[10]. Mediante el uso de las cubiertas vegetales se puede lograr realizar un enfriamiento activo del aire[11]. Dentro de las consideraciones a tener en cuenta para el desarrollo de estas cubiertas encontramos: El riego, ya que las cubiertas deberán mantenerse húmedas durante los periodos de calor del día[12]; La selección del sustrato adecuado, debido a que este va ligado a la selección de la vegetación que se pretende utilizar; y el diseño funcional[13].

El proceso de simulación es realizado mediante ENVI-met 4.4.6, software de simulación termodinámica validado en múltiples estudios desarrollado por el Instituto de Geografía de la Universidad de Mainz, Alemania[14]. Este programa permitirá realizar las comprobaciones necesarias para demostrar la generación de microclimas con la utilización de sistemas vegetales en edificaciones existentes[15].

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2. OBJETIVOS Y METODOLOGIA

Actualmente nuestra sociedad está atravesando por un periodo de cambios en el ámbito de adaptabilidad al cambio climático, temática que actualmente se viene abordando a nivel europeo desde el Pacto Verde¹. Este acuerdo encamina a Europa a afrontar la degradación del medio ambiente y el cambio climático, como amenazas latentes en la actualidad.[16]

De esta manera se están encaminando varios estudios a nivel europeo en la búsqueda de estrategias de mitigación que permitan a la sociedad dejar de producir emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050[17]. Es así como una de sus principales acciones enmarcadas en esta búsqueda es restaurar la biodiversidad y reducir la contaminación[18]. Se establecen como objetivos garantizar que los edificios sean más eficientes desde el punto de vista energético, al igual que fomentar la inversión en tecnologías respetuosas con el medio ambiente[19].

Es así como a nivel tanto europeo y mundial, se han empezado analizar diferentes estrategias de mitigación que permitan a las ciudades ganar resiliencia frente a los cambios actuales que nos conducen los nuevos retos para afrontar el cambio climático. Uno de estos es la renaturalización² de las ciudades[20], que busca con la implementación de los sistemas vegetales en las ciudades, estas puedan empezar a hacer un frente a la tendencia del calentamiento de estas, y a fenómenos derivados como el de la isla de calor urbana³.

2.1 OBJETIVO GENERAL

Siguiendo este camino, el objetivo general de este trabajo es evaluar la viabilidad de la generación de microclimas que permitan un acondicionamiento pasivo a edificios existentes mediante el uso de elementos vegetales en cubierta en escenarios de cambio climático en un entorno mediterráneo, específicamente en la ciudad de Sevilla, España.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

De esta manera para lograr alcanzar el anterior objetivo general, se trazan algunos objetivos específicos que permitirán dar respuesta a este.

¹ Pacto verde, Documento firmado por la Unión Europea en 2019, mediante éste se busca lograr la neutralidad climática de aquí a 2050. Para conseguir este objetivo será necesaria la transformación de la sociedad y de la economía europea, que tendrá que ser rentable, justa y socialmente equilibrada[17].

² Renaturalización, concepto que ha sido empezado a ser utilizado dentro de la planificación urbana, dentro de este las zonas verdes dejan de ser puntos dispersos y empiezan a formar parte de una trama que comunica todo el espacio urbano[20].

³ Isla de calor urbana, es una situación urbana, de acumulación de calor por la inmensa mole de hormigón, y demás materiales absorbentes de calor; y atmosférica que se da en situaciones de estabilidad por la acción de un anticiclón térmico[18].

- Desarrollar una base de estudio recopilando las tipologías y los distintos sistemas constructivos de cubiertas verdes que actualmente se encuentran disponibles en el mercado, determinando su coste y viabilidad para implementarse en edificios existentes.
- Identificar y analizar casos de implementación de cubiertas vegetales en el entorno de la ciudad de Sevilla, que sirvan como base para replicar en la ciudad.
- Plantear mediante simulaciones informáticas, con ENVI-met 4.4.6, la posibilidad de extender las cubiertas vegetales de forma extensiva a nivel urbano, en el cual se simulará el microclima urbano.
- Determinar el grado de influencia que tienen los sistemas vegetales, en específico las cubiertas vegetales de uso extensivo, en la generación de microclimas urbanos.

2.3 METODOLOGIA

Para el desarrollo de los objetivos trazados en el presente trabajo de fin de máster, se plantea el desarrollo en cuatro fases; **Fase 1**, Estado de la cuestión, se realiza en esta fase el estudio de antecedentes en la literatura existente, entre los que encontramos el fenómeno de isla de calor urbano, estudio del clima en el que se ubica la ciudad de Sevilla, definición de soluciones constructivas utilizados para sistemas vegetales en cubiertas, tipologías y componentes, mapeado de empresas en España que desarrollan este tipo de cubiertas y comparativa entre estas, con estudios previos realizados alrededor del mundo.

En la segunda fase; **Fase 2**, se realiza un trabajo de campo para la catalogación de casos reales ejecutados en la ciudad de Sevilla, dentro de éste se realiza un proceso de caracterización de los sistemas vegetales utilizados en las cubiertas en la ciudad, de esta manera se seleccionan las características y tipologías que serán utilizadas posteriormente durante el proceso de simulación.

En la fase siguiente; **Fase 3**, Análisis del objeto de estudio, es comprendida por 3 sub fases, éstas se desarrollan para dar entendimiento a los puntos a comparar, en primera instancia encontramos la **Fase 3.1** Identificación, en la cual se realiza una selección de una barriada en la ciudad de Sevilla, en la cual se pueda desarrollar posteriormente la simulación del sistema vegetal en cubierta, identificado en la fase anterior; por la cual se busca evidenciar los beneficios en la generación de microclimas en el entorno a las edificaciones que tienen actualmente algún sistema de cubierta sin vegetación y la influencia que esta tendría con su entorno en la reducción de la temperatura. **Fase 3.2** Simulación, Se pretende utilizar la herramienta de simulación ENVI-met v.4.4.6 la cual permita evaluar los beneficios de las cubiertas vegetales y contrastar las posibilidades de extender las cubiertas en sistema extensivo de forma amplia a nivel urbano. Para ello se definirá una zona de barriada residencial en Sevilla seleccionada atendiendo a criterios detectados en la Fase 3.1, una vez seleccionado este se realiza el proceso de modelación mediante SPACES, introducción de bases climatológicas basadas en monitorizaciones realizadas en años anteriores en ENVIGUIDE, y por último estas simulaciones son procesadas en ENVICORE; con esto entramos

a la, **Fase 3.3** Análisis de resultados, se representan mediante LEONARDO, en la cual se obtienen gráficamente los resultados de las simulaciones realizadas a los modelos previamente seleccionados.

De esta manera para dar por concluido, se tendrá la **fase 4**, en ésta se abarcan las conclusiones. Mediante el trabajo final de máster se busca determinar el grado de influencia que puede desempeñar este tipo de sistemas vegetales con miras en lograr mitigar la isla de calor urbano y de esta misma manera lograr reducir las altas temperaturas que se presentan en la ciudad de Sevilla durante el verano. Esto realiza mediante la comparación de los resultados obtenidos, dentro de los escenarios planteados, y de esta manera presentar las conclusiones del trabajo, y dar respuesta a los planteamientos iniciales.

De igual manera, dentro del cronograma del desarrollo de la metodología del trabajo, se propuso realizar la monitorización de las cubiertas verdes existentes en el centro comercial La Lagoh en la ciudad de Sevilla. Pero debido a problemas administrativos, no se logró tener a tiempo el permiso necesario para realizar esta, sin embargo, se realizó una visita técnica en la cual se observó de manera detallada el funcionamiento de esta cubierta.

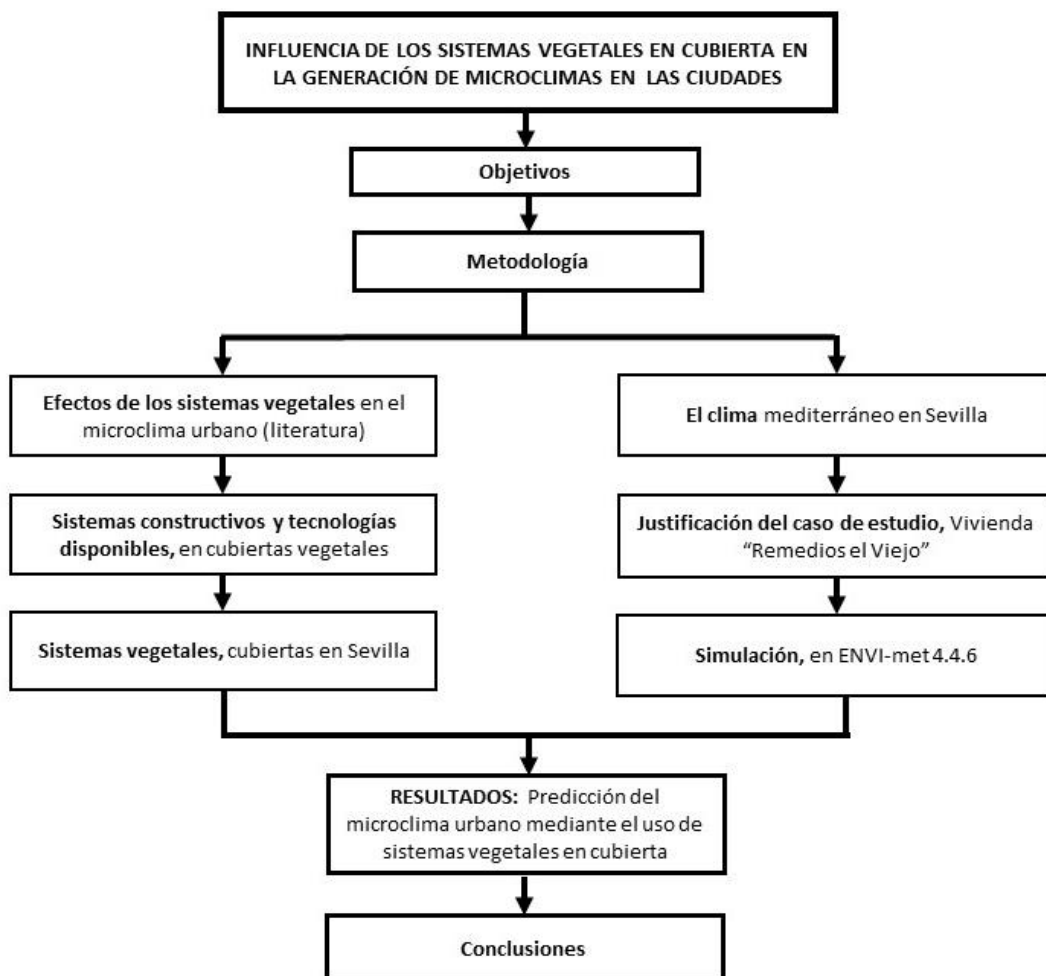


Figura 1. Metodología de trabajo, Fuente: Elaboración propia

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Durante el desarrollo de este capítulo se pretende dar a conocer los antecedentes en la literatura existente, entre los que encontramos el fenómeno de isla de calor urbano, estudio del clima en el que se ubica la ciudad de Sevilla, definición de soluciones constructivas utilizados por sistemas vegetales en cubiertas, tipologías y componentes, mapeado de empresas en España que desarrollan este tipo de cubiertas y comparativa, con estudios previos realizados alrededor del mundo.

3.1 PROBLEMÁTICA ACTUAL

En los últimos 30 años, Según el último informe sobre el calentamiento global realizado por el IPCC⁴, en la ciudad de Sevilla se ha registrado un aumento de 0.7° C de temperatura media anual y para el año 2050 se prevé que dicho aumento sea de 2,9° C[21]. Esto se ve presente debido a los cambios climáticos, que actualmente se están viendo más evidenciados por las emisiones continuas de gases de efecto invernadero[22].

La situación actual es poco prometedora, alrededor del mundo son más evidentes los efectos colaterales que se ha visto sometido el planeta Tierra, como lo son los crecientes incendios y las altas temperaturas registradas[23]. Es así como se evidenció el aumento de la temperatura global en 1.09° C entre 2011 y 2020. Un aumento que se había registrado anteriormente en el periodo de 1850 y 1900, ahora se ha registrado en tan solo 9 años[24].

De igual manera se evidencio que durante los últimos 5 años de acuerdo con el IPCC[25], se han presentado las temperaturas más altas, éstas no se ostentaban desde el año 1850. El aumento del nivel del mar se ha triplicado, con respecto al periodo registrado entre 1901 y 1971[26]. Desde 1950 se han ido incrementando con mayor frecuencia las olas de calor, lo cual se contrasta con los eventos fríos que son cada vez menos frecuentes y severos.

El aumento de la temperatura será inminente según lo reportado en el último informe de Climate Change 2021, registrando en los próximos 20 años un aumento de +1.5° C o más[3]; lo cual traerá cada día más el incremento de oleadas de calor más intensas y frecuentes, lluvias y sequías. De esta forma el calentamiento será constante en la atmosfera, el océano y la Tierra[23].

Además de esto, podemos observar que hoy en día, la mayoría de la población vive en las ciudades, y hay una tendencia de crecimiento hacia la vida urbana año tras año. De acuerdo con el más reciente reporte de las Naciones Unidas, la población que se encuentra concentrada en las urbes se espera que crezca hasta un 67% para el año 2050 [27].

De esta forma se analizarán a continuación tres temáticas que abarcan la problemática actual como lo son las emisiones de gases de efecto invernadero, el fenómeno de la isla de calor urbana y la huella de las edificaciones.

⁴ IPCC, El grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático fue creado en 1988 para facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta [87].

3.1.1 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por las actividades humanas, han sido las responsables del aumento de las temperaturas en un 1,1° C desde el periodo comprendido desde 1850 a 1900[28]. Como se puede observar en la Figura 2, en la cual se observan el cambio promedio de la temperatura global, indicando temperaturas observadas y simulacros de computadora. En la cual se puede constatar que los aumentos en las temperaturas han sido derivadas de factores humanos, en discrepancia con el aumento que se hubiera tenido basado en factores únicamente naturales.

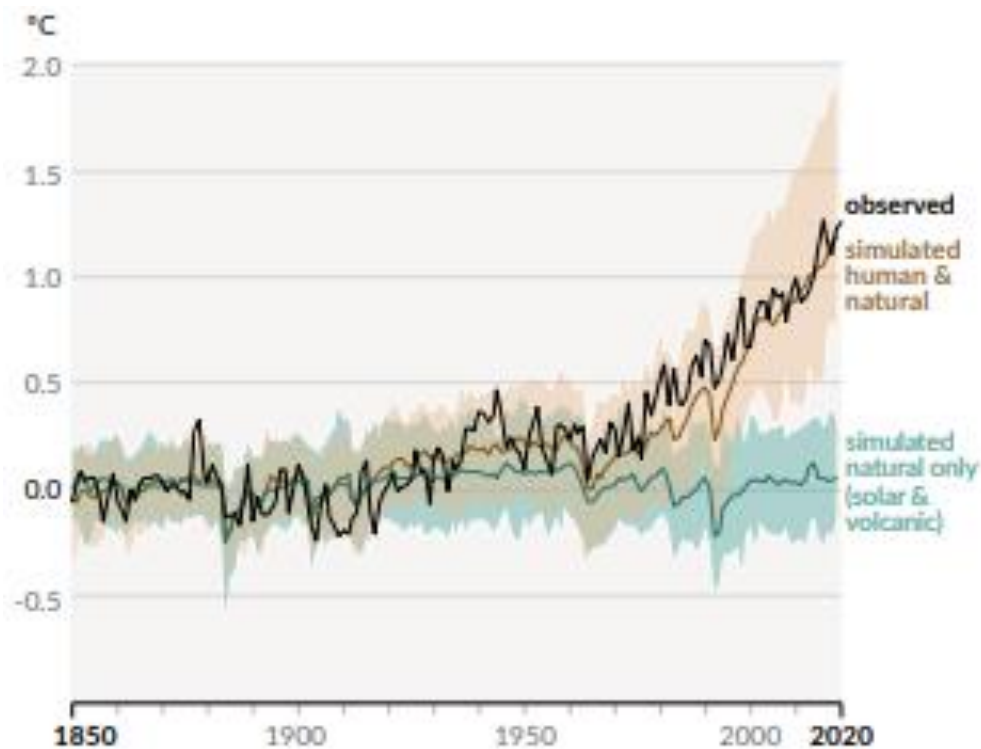


Figura 2. La influencia humana en el calentamiento global. Fuente: IPCC, 2021

El CO₂ es responsable del 81,2% de las emisiones de gases de efecto invernadero[25], el dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero⁵ que suele expulsarse con más frecuencia a la atmósfera como consecuencia de distintas actividades humanas. La energía es responsable del 78% de las emisiones de gases, mientras el transporte de un tercio[28].

Dando respuesta a esto, el programa de medio ambiente de las Naciones Unidas propone 5 claves que permitan la reducción de emisiones de carbono [29]:

- Incrementar la eficiencia energética de edificios nuevos y existentes.
- Incrementar la eficiencia energética de los electrodomésticos.
- Incentivar a las empresas de energía y distribución a apoyar la reducción de emisiones en los edificios.

⁵ El efecto invernadero, es el proceso donde los gases que son expulsados a la biosfera absorben radiación térmica que emite la superficie planetaria. Esta radiación es luego devuelta a la superficie y a la atmósfera, lo que provoca un incremento de la temperatura, según el Parlamento Europeo.

- Cambiar actitudes y comportamientos hacia el consumo de energía.
- Sustitución de combustibles fósiles por energías renovables.

Es así como las ciudades y en específico las edificaciones que en estas se emplazan están siendo las responsables del alto consumo energético que conlleva a la emisión de CO₂ a la atmosfera[30] . Esto debido al gran consumo energético que están utilizando ya sea en los veranos más calurosos o los inviernos. El confort que estas viviendas requirieren está normalmente siendo compensado con energías no renovables, mas no se ha tomado conciencia de estrategias de amortiguación pasivas que ayuden a dar cara a esta problemática[31].

3.1.2 ISLA DE CALOR URBANA (URBAN HEAT ISLAND UHI)

El fenómeno de la isla de calor urbana puede llegar a aumentar la temperatura de una ciudad entre un 2% y 5% [32]. Este se presenta en su mayoría en centros urbanos debido a la gran cantidad de materiales que este tiene en sus construcciones, tales como el concreto y el asfalto, estos pueden llegar a absorben grandes cantidades de calor durante el día.

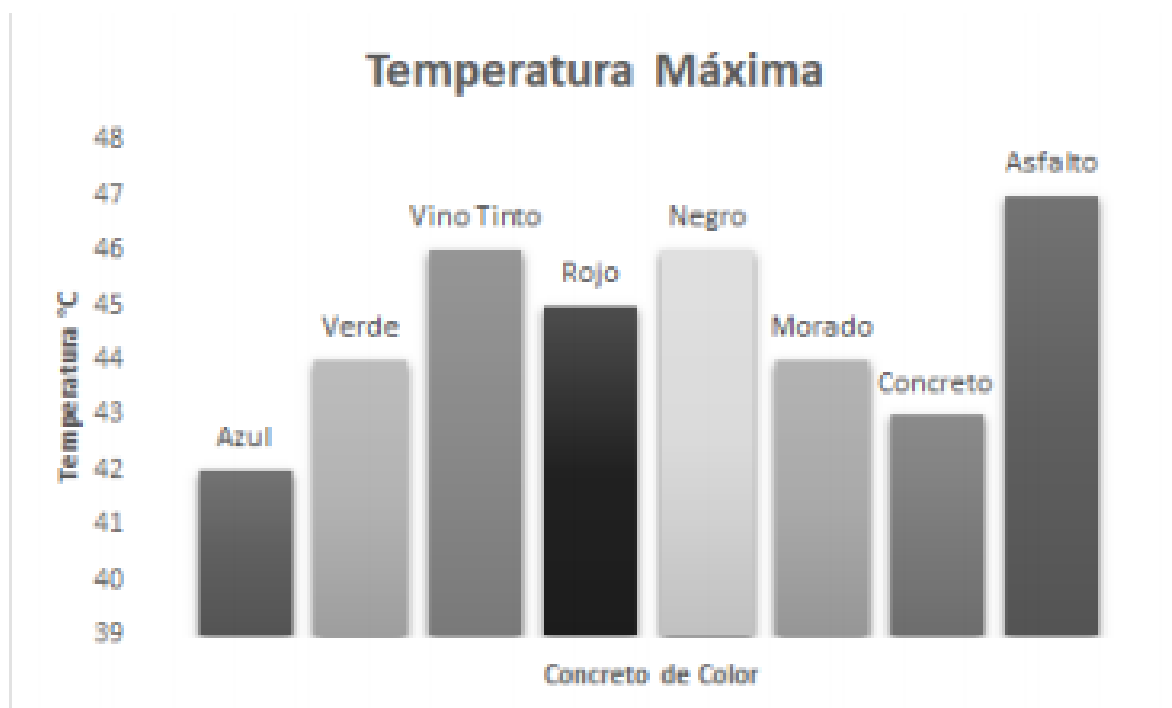


Figura 3. Temperaturas máximas registradas en materiales. Fuente: Torres Convers, 2018.

Según investigaciones relacionadas al estudio de materiales que son utilizados en las ciudades se ve reflejado en la Figura 3, con en el color del concreto, por ejemplo, donde este puede llegar a influenciar a el aumento de la isla de calor en las urbes, donde el asfalto puede llegar a estar a 47 ° C, y el concreto azul a 42 ° C. Las propiedades reflectivas y térmicas de cada uno de los materiales se les analiza factores como conductividad térmica, reflexión, absorción, emisión y almacenamiento de calor[33].

Las ciudades alrededor del mundo continúan un proceso de urbanización elevado, y ligado a este crecimiento se ha encontrado evidencia que este ha impulsado a que el fenómeno de isla de calor urbano se presente cada vez más. Este efecto hace que la temperatura en el aire de ciudades altamente densificadas presenten alzas de temperaturas considerables y mayor a la de las áreas rurales de su entorno [34].

Normalmente, este fenómeno tiene mayor incidencia en la temperatura de las ciudades en la noche[35], debido a que todo el calor absorbido durante el día por los materiales ya mencionados en las ciudades es expulsado durante la noche. A este fenómeno se le designa como “isla” debido al efecto que crea dentro de un territorio, donde la zona rural es concebida como el mar, y el calor concentrado en las ciudades como isla [36]. Esto lo vemos representado en la figura 4, donde se connota el incremento de la temperatura y la forma de isla que esta representa en una ciudad.

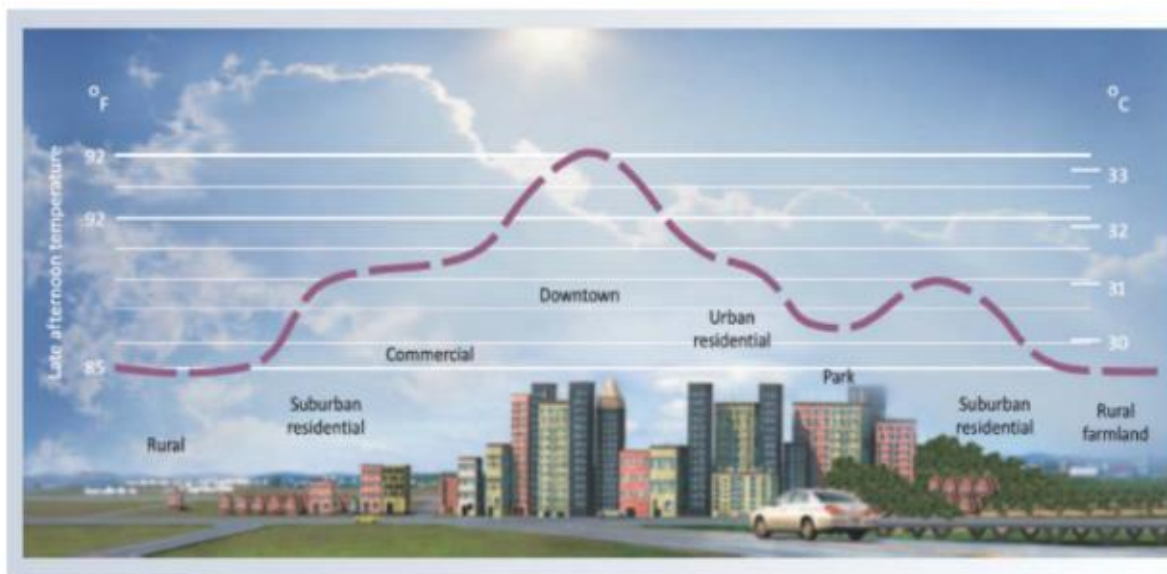


Figura 4. Isla de calor urbano. Fuente: J. K. W. Wong & L. S. K. Lau, 2013

De ahí nace una de las preocupaciones para abarcar durante el desarrollo de este trabajo final de máster, como lograr pasar de una isla de calor a una isla verde urbana. Uno de los métodos actuales que se ha empezado a implementar durante los últimos años, es el uso de los elementos vegetales[12]. Estos cobran una gran importancia con miras a reducir los efectos de la isla de calor urbana, estos elementos verdes pueden llegar a minimizar la huella ecológica que las edificaciones dejan en los ecosistemas urbanos[37].

3.1.3 HUELLA ECOLÓGICA EN EDIFICACIONES

Existen métodos de cálculo para lograr determinar el impacto que está teniendo una edificación con respecto a su consumo interno de energía, esto es determinando su huella de

carbono[38]. El más utilizado es el protocolo GHG del WRI⁶, este utiliza dos estándares relacionados al cálculo, el primero abarca los informes del ciclo de vida del producto y el segundo pautas de cadena de valor[39].

En este método se analizan múltiples aspectos tales como materialidad constructiva, uso, y origen de las energías que se utilizan para que este se encuentre en funcionamiento[40].

Basados en este último factor, y según el IPCC [26][3], se estima que se tiene una posibilidad de poder enfrentar el calentamiento global, basados en la reducción de las emisiones actuales a la mitad para 2030, y alcanzar 0 emisiones netas para 2050, de esta forma se podrá detener el aumento de las temperaturas. Para alcanzar el 0 neto, esto significa reducir las emisiones de efecto invernadero tanto como se sea posible mediante:

- Utilización de tecnologías limpias.
- Realizar el proceso de captación y almacenamiento de CO₂ (Mediante plantación de árboles y/o sistemas vegetales).

De esta forma se analiza la potencialidad que tienen las ciudades de poder albergar sistemas vegetales en sus envoltentes que permitan captar y almacenar CO₂[41]. Así, al momento de realizar los cálculos de huella de carbono esta sea próxima a 0, lo cual permitan a las edificaciones poder jugar un papel importante en el futuro, desde la perspectiva de captación y almacenamiento de dióxido de carbono[42].

Por otro lado, desde un punto de vista ecológico, la huella producida para la obtención de energía eléctrica (la cual es utilizada para enfriar las edificaciones, ya sean hogares, oficinas, etc.), es superior a la huella de carbono que se necesita para producir agua[43]. De esta forma el gasto energético que se necesita para lograr enfriar es aproximadamente 6 veces más caro y 6 veces menos sostenible que el gasto del agua que se necesitaría para poder llegar a irrigar los sistemas vegetales.[44]

⁶ WRI, World Resources Institute es una organización de investigación global que convierte las ideas en acciones por el medio ambiente, las oportunidades económicas y el bienestar humano.[88]

3.2 SISTEMAS VEGETALES (GREENERY SYSTEMS)

Los sistemas vegetales actualmente están considerados dentro de las soluciones sustentables más apropiadas para resolver la problemática relacionada con el fenómeno de la isla de calor [45]. Con la implementación de estos en edificaciones nuevas y ya construidas, se espera que estas mejoren la calidad de enfriamiento desde sus pieles exteriores y de tal manera el consumo energético que se necesitaría para el enfriamiento se reduciría[11]. Por lo tanto, la emisión de gases sería menor al igual que el consumo energético.

Desde el punto de vista de Vijayaraghavan[46], la integración de estos sistemas vegetales dentro de edificios construidos en las áreas urbanas como lo es en este caso de estudio en el área urbana de la ciudad de Sevilla, podría tener un gran potencial de mejorar la calidad medioambiental urbana. Desde proveer una mejor calidad de aire, creación de vegetación urbana y las emisiones de carbono, como de igual manera de ayudar a minimizar los efectos de la isla de calor[31].

Durante los últimos años, el desarrollo de sistemas vegetales se ha encontrado en auge en países como Estados Unidos, Canadá, Australia, Singapur y Japón. En estos países se ha empezado un proceso de renovación “verde” a las edificaciones existentes, esto soportado bajo leyes que han encaminado a que esto sea posible. Estas leyes hacen obligatorio el uso de estos sistemas en nuevas construcciones y proponen un programa de incentivos para que sean implementados en edificaciones existentes [47].

Algunos ejemplos de estos son en Canadá, en donde las cubiertas de las edificaciones deben cubrir un mínimo del 20% a un 60% dependiendo del área en m² que estas tengan. Por otro lado, tenemos a Japón, en donde es obligatorio en un 20% como mínimo el uso de cubiertas vegetales en las edificaciones [48].

La implementación de los sistemas vegetales en edificaciones puede desarrollarse tanto en la cubierta como en la fachada, estos durante los últimos años han sido objeto de investigación dentro de diferentes aspectos tales como el ahorro energético y el confort térmico [49].

La implementación de estos a lo largo del tiempo ha demostrado que aparte de ser un elemento estético que agrada a su primera vista, también se ha tomado en cuenta como elemento clave que ayuda a crear resiliencia[50]. Mediante la utilización de estos pueden llegar a cumplir un papel importante, que, bajo los escenarios producidos por el calentamiento global, se muestra como una solución que logra reducir el consumo energético de las construcciones[51].

Dentro de la implementación de los sistemas vegetales encontramos dos grandes tipos: los que son desarrollados en las cubiertas (1) y los implementados en las fachadas (2). De igual manera como se puede observar en la figura 5; encontramos una subclasificación de estos entre los que se encuentran: balcones verdes (3), jardines interiores (4) y jardines exteriores (5). [52]

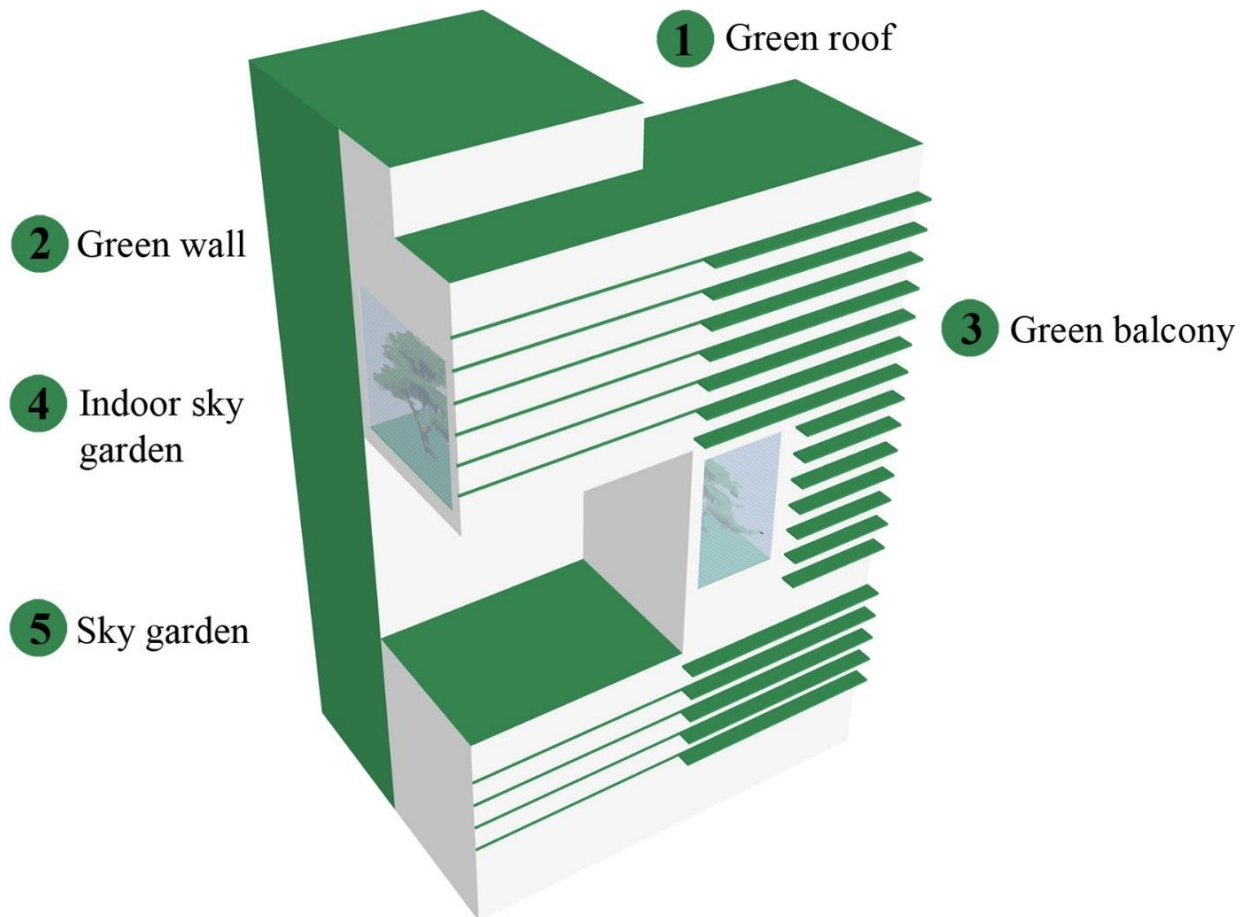


Figura 5. Clasificación de los sistemas vegetales en edificaciones. Fuente: L. Pan & L. M. Chu, 2016

3.2.1 SISTEMA DE FACHADAS VEGETALES

El desarrollo de sistemas vegetales verticales, mejormente conocidos como fachadas vegetales, vivas o verdes, ha empezado a tomar importancia en la implementación de este sistema en áreas densamente pobladas[53]. El uso de este sistema de reverdecimiento sobre las superficies ofrece una gran cantidad de posibilidades relacionadas con el ahorro energético y la modernización ecológica tanto para las edificaciones como para las áreas urbanas[54].

Dentro de los beneficios que se encuentran están desde la reducción de temperatura en muros de fachada, sombreado, menor absorción solar, insolación térmica, además de la generación de microclimas, incremento de biodiversidad y mejoramiento de la calidad del aire [52].

Estos sistemas son normalmente concebidos como una capa adicional que se desarrolla en la fachada, y su mayor intención es el crecimiento de vegetación en el muro de las edificaciones[55]. Este sistema también es llamado como jardines verticales, muros verdes, bio-muros, entre otros.

La clasificación de estos según la literatura científica existente se desarrolla en dos sistemas diferentes, llamados fachadas verdes y muros vivos[56].

Como se puede observar en la tabla 1, la diferencia que radica entre ambos es como se desarrolla la vegetación en el muro. En las fachadas verdes la vegetación nace desde el suelo y se desarrolla libremente sobre la fachada, mientras que en los muros vivos la vegetación crece en semilleros emplazados en las fachadas que permite el desarrollo de elementos verdes [57].


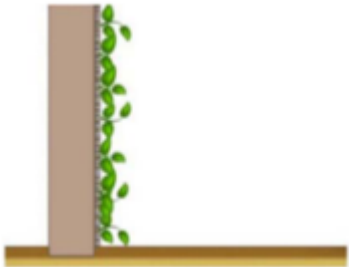
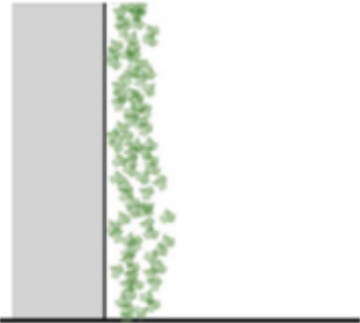





Usualmente el desarrollo de sistemas vegetales verticales ha sido empleado a diferencia de las cubiertas vegetales con fines más estéticos en las edificaciones. Actualmente estos sistemas se han empezado a emplear como soluciones pasivas que permitan mejorar la calidad de vida en las áreas urbanas, así como de las edificaciones[58].

Dentro de los beneficios ambientales que se encuentran, son de similar resultado al de las cubiertas vegetales. Los sistemas vegetales verticales logran proteger la envolvente del edificio, reduce la velocidad del viento en las paredes, además que permite ahorrar energía en los periodos de verano[59].

Los investigadores N.Wong, A.Kwang y P. Tan [60] reconocen tres factores principales como los parámetros clave que determinan el impacto de los sistemas vegetales verticales como técnica pasiva para el ahorro energético en un edificio:

1. El efecto de enfriamiento de la vegetación y el sustrato a través de la evapotranspiración
2. El efecto de aislamiento térmico mediante la creación de un entorno micro climático entre el dosel de la envolvente del edificio.
3. El efecto de sombra de la capa de vegetación.

Tabla 1. Sistemas vegetales verticales, desarrollo e implementación. Fuente: Elaboración propia bajo los referentes [52] [57] [60]

Fachadas Vegetales		
<p>Fachadas verdes</p> 	<p>Fachada viva</p> 	
<p>En fachada verde, las plantas se enraízan en el suelo en el suelo y trepan en la fachada y cubren la elevación.</p>		<p>Las paredes vivas son láminas pre-vegetadas que se unen a una pared o marco estructural.</p>
<i>Fachada verde directa</i>	<i>Fachada verde indirecta</i>	<i>Fachada viva (en semillero)</i>
		
		

ESTADO DE LA CUESTIÓN

<p>Esto se cuenta como la forma tradicional de reverdecer las fachadas. En este sistema, las plantas trepadoras se conectan directamente a la fachada y utilizan materiales de construcción como soporte. Las plantas están enraizadas principalmente en el suelo o en macetas.</p>	<p>Este sistema es utilizado para proporcionar un espacio entre la fachada y la capa verde, algunos soportes estructurales que se utilizan como el alambre, malla o enrejado. Las plantas pueden enraizar en el suelo, en el techo o en sustratos adheridos a la pared.</p>	<p>Las paredes vivas consisten en paneles modulares pre-cultivados; cada uno contiene un medio de cultivo y un sistema de riego para proporcionar todos los nutrientes a las plantas. También tienen una capa impermeable para aislar la fachada de la penetración de humedad.</p>
Características e inconvenientes		
<ul style="list-style-type: none"> • Las plantas trepadoras difícilmente pueden crecer hasta 25 m sin estructura de soporte y lleva mucho tiempo • Aceleran el deterioro de los materiales de la fachada y dificultan el mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • La fachada verde de doble piel aumenta las propiedades de aislamiento de las paredes verdes al introducir una capa de aire estancado entre la pared y la capa verde, protege los materiales de la fachada de la demolición y permite que las plantas crezcan más rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> • En estos sistemas se puede agregar una gran variedad de plantas, incluidos helechos, arbustos pequeños y flores perennes. • Si es necesario, la estructura modular facilita la sustitución de plantas
		
<p><i>Fachada verde tradicional. Lleida (España)</i></p>	<p><i>Fachada verde indirecta. (Costa Rica)</i></p>	<p><i>Fachada viva en paneles. Edificio Multimedia, Kioto (Japón)</i></p>

3.2.2 SISTEMAS DE CUBIERTAS VEGETALES

Las cubiertas pueden llegar a ocupar del 20%-25% de las áreas superficiales urbanas basados en una ciudad promedio [45]. De tal manera un proceso de reverdecimiento de estas podría llegar a tener un gran potencial que afectaría positivamente los edificios y al medio ambiente urbano. Durante los últimos años la implementación de estos se ha incrementado su uso en Europa, Norte América y países tropicales en Asia. Alemania es considerado el país pionero en la implementación de estos [61].

Dentro de la literatura, este término se ve enmarcado con diferentes nombres tales como eco-cubiertas, cubiertas jardín, cubiertas vivas y sin número más de terminología con la cual se puede llegar a relacionar a las cubiertas vegetales[62].

Algunos beneficios enmarcados con la implementación del uso de este sistema son la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, polución del aire e isla de calor urbano en áreas altamente pobladas, prevención de lluvias acidas debido al escalamiento de los valores de pH, proveer un mejor desarrollo ecológico en la vida urbana, absorber polución auditiva, entre otros factores [63].

Este tipo de sistema de cubiertas son efectivas además para generar resiliencia a las altas temperaturas que se están presentando actualmente en la Tierra durante los periodos de verano[64]. Con la implementación de este sistema se puede llegar a reducir el calentamiento absorbido en cubierta mediante sistemas vegetales en un 80% [65]. Lo cual sería una manera de protección pasiva que ayudaría a la reducción de las temperaturas que se presentan en las edificaciones en el verano.

Para un mejor entendimiento de las cubiertas vegetales, se analizan dos clasificaciones que son actualmente las más utilizadas para entender las tipologías que en estas se desarrollan:

- Clasificación en función de la vegetación que alberga.
- Clasificación en función de la tecnología que se utiliza para implementarla.

En la primera se abarca en función del tipo de plantación que esta se proyecta tener. Basado en esto, las especificaciones técnicas de desarrollo varían, al igual que el grosor que esta tendrá. Por otro lado, se encuentra la clasificación de acuerdo con la tecnología que se utiliza, encontrando las tradicionales que están incluidas en la clasificación anterior, y las que utilizan semilleros prefabricados e instalados posteriormente en la cubierta[66].

3.2.2.1 TIPOLOGIAS

Para un mejor entendimiento de las tipologías que conlleva el desarrollo de un sistema de cubierta vegetal nos remitimos a la tabla 2 [13], en esta se observa de forma general las diferentes capas que conlleva el uso de cubiertas vegetales, además que estas pueden llegar a variar dependiendo del clima en el que se desean implementar.

Tabla 2. Componentes generales de una cubierta vegetal. Fuente: A. B. Besir & E. Cuce, 2018 bajo la referente [13].

Cubierta vegetal	
	Vegetación (1)
	Sustrato de crecimiento (2)
	Tela filtrante (3)
	Elemento de drenaje (4)
	Capa de protección (5)
	Barrera de raíces (6)
	Capa de aislamiento (7)
	Membrana impermeabilizante (8)
	Cubierta de la azotea (9)

Analizando la tabla 2, se explica a continuación, las características y funciones que cumplen cada una de las capas involucradas en la construcción de una cubierta vegetal [67].

La membrana impermeabilizante (8), cumple la función de impedir la penetración del agua al soporte, suele realizarse con materiales bituminosos con cierto contenido reciclado, como los productos derivados del polietileno (EPDM); suelen ser membranas monolíticas y llevar incorporado una barrera anti-raíces (6) (sobre todo en las cubiertas intensivas).

La capa de aislamiento (7), protege la impermeabilización de posibles daños. La capa de protección (5) suele ser de poliestireno extruido, material aislante que tiene una gran resistencia a la penetración del agua.

Dentro del proceso constructivo de las cubiertas vegetales además de la impermeabilización y el aislamiento, son importantes también los ítems de retención del agua (4) y aireación (3). Estos son los encargados de la retención de líquidos, al igual de asegurar un buen drenaje y aireación de la cubierta. La capa drenante suele estar compuesta por fibras de polipropileno reciclado o paneles de polietileno reciclado. Esta cumple la función de retención de agua y nutrientes que llegan desde el sustrato de crecimiento (2).

La capa de drenaje, la cual normalmente está compuesta por placas de poliestireno perforado, o algún otro material poroso, cumple la función del control del drenaje, mas no de capacidad retentiva de agua. La tela filtrante (3), es la que evita la caída del suelo y normalmente es un material geotextil realizado por fibras de poliéster.

El Sustrato (2), es el soporte directo de la vegetación, debe de incluir características como capacidad de retención del agua, permeabilidad, capacidad de aireación y resistencia a la erosión. Este es el principal proveedor de nutrientes a la vegetación que este alberga. Normalmente es recomendado una proporción de 75% de suelo mineral y 25% de suelo orgánico (en cubiertas extensivas), y un 55% de suelo mineral y 45% de orgánico (en cubiertas intensivas).

Respecto a la vegetación (1), nos remitimos a la tabla 3, en la cual se podrá detallar más respecto al tipo de vegetación que se pueda implementar, y las características técnicas que estas deberán de tener.




3.2.2.2 CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA VEGETACIÓN.

De igual manera dentro del desarrollo de este sistema vegetal encontramos una subclasificación de las cubiertas vegetales basados en función de la vegetación que esta soportará. Esta clasificación se basa en diferentes factores, tales como frecuencia en que se debe realizar un mantenimiento de esta, necesidad de irrigación, tipología de vegetación que se podría utilizar, costes, peso que se efectuará sobre la infraestructura existente normalmente medido en kg/m^2 , uso y espesor general de las capas a implementar[27].

Para esto podemos observar la tabla 3 y tabla 4, la cual nos realiza una subclasificación dividida en tres grandes tipologías como lo son cubiertas verdes en extensión, cubiertas verdes semi intensivas, y cubiertas verdes intensivas.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

Tabla 3. Sistemas vegetales horizontales, desarrollo e implementación. Fuente: Elaboración propia bajo las referentes [45] [68] [69]

Cubiertas Vegetales			
Tipología	Extensivas	Semi-intensivas	Intensivas
			
Mantenimiento	Bajo	Periódico	Alto
Irrigación	No	Periódico	Regular
Tipo de Vegetación	Musgo, Sedum, Hierbas y pastos	Hierbas y arbustos	Césped o plantas perennes, arbustos y árboles
Altura de construcción del sistema	60mm – 200mm	120mm – 250mm	150mm – 400mm > 1000mm
Peso	60 – 150 kg/m ²	120 – 200 kg/m ²	180 – 500 kg/m ²
Costo	Bajo	Medio	Alto
Uso	Capa de protección ecológica, poseen la capa de construcción más delgada, debido a la vegetación de poca raíz que esta usualmente tiene.	Techo verde diseñado, es considerada como la combinación entre en la extensiva e intensiva, debido a que puede albergar vegetación con más tamaño.	Parque como jardín, puede albergar desde el césped a árboles de máximas dimensiones.

			
	<p>Cubierta vegetal extensivo.</p>	<p>Cubierta semi intensiva en Valencia, España.</p>	<p>Cubierta vegetal intensiva en Linz, Austria.</p>
Características e inconvenientes			
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consideradas como azoteas ajardinadas ya que tienen en su mayoría sedum y plantas autóctonas de la zona. ▪ La capa de vegetación es muy fina. Son recomendadas para cualquier tipo de superficie, al no incrementar el peso estructural de las edificaciones. ▪ No son transitables ni aptas para el cultivo. ▪ Su instalación es la más fácil, y no requiere prácticamente mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Labores de mantenimiento, nivel intermedio. ▪ Requiere de riego medio. ▪ Parcialmente transitable. ▪ Diversidad vegetal mediana, arbustos pequeños, pastos ornamentales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Este tipo de cubierta se puede combinar con accesos de personas, vehículos, estanques y lagunas. ▪ La construcción de esta debe de corresponder a la carga de la capa vegetal, la destinación y el tráfico que esta tendrá. ▪ Su instalación se requiere personal calificado y un mantenimiento constante.

De esta forma al analizar los sistemas vegetales según su vegetación, se encuentra como resultados de la comparativa entre estos que:

El sistema extensivo es:

- Más liviano.
- Apto para grandes áreas.
- Menor manutención, puede diseñarse para no ser regado.
- Es utilizado comúnmente para proyectos de remodelación.
- Menor costo de inversión.

En cuanto al sistema intensivo es:

- Tiene una gran variedad de diseño paisajístico.
- Mayor potencial de biodiversidad.
- Mayor posibilidad de uso por parte de las personas.

La comparativa anterior será de utilidad para lograr determinar más adelante con que sistema vegetal se realizaran las simulaciones del caso de estudio seleccionado.

Clasificación en función de la tecnología.

Revisando la literatura existente, también se encuentra una clasificación de las cubiertas vegetales de acuerdo con la tecnología utilizada para su implantación. Las tres explicadas anteriormente son instaladas in situ, son conocidas como el sistema multicapa, y las cubiertas contenedoras de cultivos, mejor conocidas como verdes modulares, son preconcebidas en “semilleros”. Estos son instalados directamente sobre las cubiertas.[70]















Este tipo de cubierta es hoy en día la forma más sencilla de realizar una instalación en una azotea y de reducir el mantenimiento que normalmente puede llegar a requerir una cubierta de otra tipología. Esta cubierta se encuentra subdivida por módulos que se integran para poder generar la cubierta. De esta forma su adaptación de hace más rápido además si alguno llegará a presentar alguna deficiencia sería más fácil realizar su intercambio.

Dentro de las ventajas se encuentran una baja sobrecarga, el proceso de instalación y desinstalación, transitabilidad. Su precio es más económico comparado con los otros sistemas, este tipo de cubierta cuenta con un sistema de riego por goteo, para largos periodos de sequía y calor extremo.

3.2.2.3 COMPONENTES

Dentro de la literatura encontrada, y basados en el tipo de vegetación que se pretende implementar, también se le puede dar la clasificación a las cubiertas vegetales. En la Tabla 4, se analiza parámetros como sustrato, necesidades de riego, entre otros factores.


Tabla 4. Tipo de cubierta de acuerdo con la vegetación. Fuente: Elaboración propia bajo la referente [70]

Planta	Sedum	Otras tapizantes	Gramíneas	Césped	Hortícolas	Vivaces	Arbustos
							
Sustrato	5 cm	5 cm	10 cm	10 cm	10 cm – 30 cm	20 cm – 30 cm	20 cm – 30 cm
Fase mineral	xxx	xx	xx	xx	x	xx	xx
Compost vegetal	x	xxx	xxx	xxx	xx	xxx	xxx
Hummus-abono					xx	x	x
Necesidades de riego							
Mantenimiento	Bajo: 1- 2 veces al año, desherbado y retirada de leñosas. Manual.		Bajo a moderado: 2-4 veces/año.	Alto: siega mecánica frecuente, labores hortícolas, según temporada y cultivo.		Bajo a moderado: 2-4 veces/año.	Moderado: al menos 4 veces al año
Biodiversidad	 Alimento a polinizadores. Hábitat, espacio de paso y reposo a insectos.	Hábitat, espacio de paso y reposo a insectos y aves.	Alimento a polinizadores y granívoros. Hábitat, espacio de paso a insectos, reptiles y aves.	Hábitat, espacio de paso y reposo a insectos y aves.	Alimento a polinizadores y granívoros. Hábitat, espacio de paso y reposo a insectos, reptiles y aves.	Alimento a polinizadores y granívoros. Hábitat, espacio de paso y reposo a insectos, reptiles y aves.	Alimento a polinizadores y granívoros. Hábitat, espacio de paso y reposo a insectos, reptiles y aves.

3.2.3 EMPRESAS EN ESPAÑA

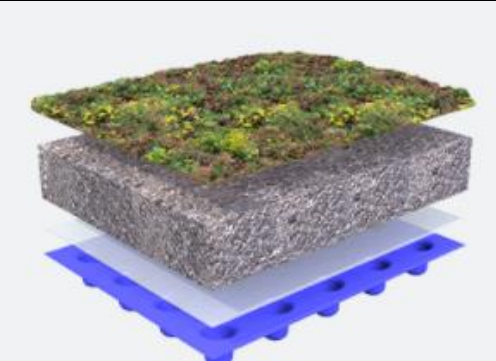
Debido a que la mayoría de literatura científica que hasta el momento se ha visto hace referencia a sistemas internacionales, que bien son aplicables a España. Se busca contextualizar éstas a un entorno mediterráneo, propio del clima de la comunidad de Andalucía, y la ciudad de Sevilla. A continuación, en la tabla 5 y 6, se realiza un estudio de empresas que realicen la instalación de sistemas de cubiertas vegetales a nivel local y una comparación entre éstas, con el objetivo de lograr seleccionar el sistema que se simulará posteriormente.



Tabla 5. Empresas en España que implementan cubiertas vegetales. Fuente: Elaboración propia bajo las referentes [44] [71] [72] [70]

<p>Empresa</p> <p>Singular Green</p> 	<p>Descripción: Empresa especializada en el paisajismo, mediante la integración de la naturaleza y la arquitectura, mediante el uso de jardines verticales, cubiertas vegetales, piscinas naturales o el uso de otras herramientas vegetales.</p> <p>Cubiertas: Realizan la instalación de cubiertas vegetales extensivas e intensivas, éstas son capaces de generar beneficios tales como reducción de energía eléctrica debido a la mejora térmica que esta produce sobre las edificaciones. De igual manera tienen 6 referencias comerciales con las que implementan las cubiertas vegetales.</p>		
<p>Tipología de cubierta</p>	<p>Sistema FITUM</p>	<p>Sistema CÁNTIR</p>	<p>Sistema BAOBAB</p>
<p>Descripción</p>	<p>Este tipo de cubierta posee una pequeña capacidad de retención de aguas mediante una membrana nodular de HDPE que se combina con la utilización de una manta retenedora de alta capacidad de absorción.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema tipo extensivo. ▪ La vegetación utilizada tipo Sedum o crasas. ▪ Coste mínimo. ▪ Ausencia de riego. 	<p>En este tipo de cubiertas es viable para la gran mayoría de especies de vegetación. Con espesores de sustrato superiores a 50 cm es posible llegar a plantar determinadas especies de árboles. Utiliza un sistema de riego por goteo integrado.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ El sistema mejora la función de aislante de la cubierta en invierno y el efecto de refrigeración en verano. 	<p>La cubierta recomendada es de <i>tipo extensivo</i>, variedades de crasas o del género <i>Sedum</i>. Para otras especies, como cespitosas, se recomienda, dependiendo del clima, la utilización de riego por goteo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiene gran capacidad de almacenamiento de agua, que le permite resistir a la vegetación los veranos secos del clima mediterráneo.

			
	<p>Cubierta vegetal FITUM en Alicante.</p>	<p>Cubiertas vegetales CÁNTIR en Benidorm.</p>	<p>Cubierta vegetal BAOBAB en Valencia.</p>
	<p>Sistema GAROÉ</p>	<p>Sistema RIZOMA</p>	<p>Sistema RUPÍCOLA</p>
	<p>Cubierta en aljibe con elevada capacidad de almacenamiento de agua. Idónea para climas con episodios de lluvias intensas y largos periodos de sequia.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Compatible con amplias opciones de acabado vegetal. ▪ Aprovechamiento del agua de lluvia y mejor comportamiento térmico de la cubierta. 	<p>Sistema ultraligero. Ideal para cubiertas con forjados de poca resistencia. Solución rapida de instalación.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema muy ligero. ▪ Reducción del aire acondicionado y por consiguiente genera ahorro económico. ▪ Refrigeración activa de la vivienda. 	<p>Sistema ultraligero de poco peso, que no requiere del uso de riego gracias a la incorporacion de una capa retenedora.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema ligero sin necesidad de riego.


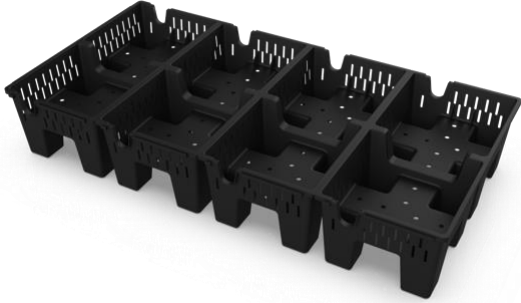
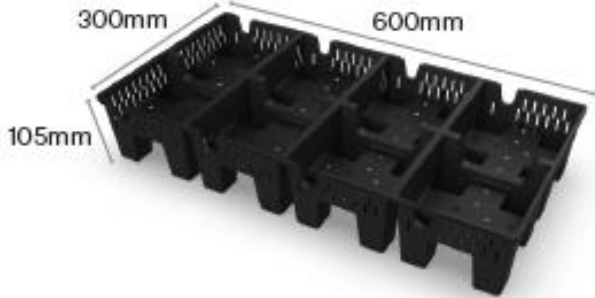
			
	Cubierta vegetal GAROÉ en Benidorm.	Cubierta vegetal RIZOMA en Elche.	Cubierta vegetal RUPÍCOLA en Jávea.
Fuente	https://www.singulargreen.com/cubiertas-vegetales/		
Empresa	Descripción: Organización cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida a través de innovaciones en el campo de la construcción sostenible y la ciudad verde.		
SemperGreen 	Sistema: La empresa maneja instalaciones de cubierta de acuerdo con su inclinación, manejados desde a) 0 a 5 grados, b) 5 a 25 grados, c) 25 a 45 grados.		
Tipología de cubierta	Cubiertas planas	Cubiertas inclinadas	
Descripción	Abarcan desde los 0 a 15 grados. Ideal para tejados planos, este retiene por defecto el agua lluvia. Se encuentra dividido en 3 capas constructivas, 1) Sempergreen tepe de Sedum mixto 30 mm. Puede contener una mezcla de 6 a 8 variedades diferentes de sedum. 2) Rollo de sustrato 40 mm 3) Drenaje con lámina filtrante de 11 a 40 mm, esta dependerá del clima donde se requiera instalar la cubierta.	El esquema constructivo de una cubierta con una inclinación moderada difiere ligeramente del esquema constructivo de una cubierta plana. Debido a que el agua se evacua más rápidamente del tejado, se necesita una capa de sustrato más gruesa. El sustrato suministra la dosis correcta de nutrientes a las plantas y asegura que su cubierta esté siempre verde. 1) Sempergreen 30mm, 2) Sustrato 50m, 3) Drenaje de 10 a 40 mm.	

		
	<p>Cubierta muy inclinada</p> <p>Sempergreen tiene una solución para cubiertas inclinadas. El tepe de sedum tipo T tiene en la parte superior e inferior un refuerzo de plástico. Esto hace que este tapiz vegetal, junto con el esquema constructivo adecuado, sea muy apropiado para aplicaciones (muy) inclinadas. Lea aquí cómo puede transformar su techo inclinado en una cubierta verde. 1) Sempergreen 30mm, 2) Sustrato 50 mm, 3) Soporte para sustrato, y 4) Manta retenedora de agua 10 mm.</p>	<p>Cubierta vegetal ligera</p> <p>A veces, la estructura de soporte de un tejado plano requiere una cubierta vegetal que sea ligera. Este esquema constructivo especial para cubierta ligera en tejados planos transforma el techo gris, con una pendiente de 0 a 15 grados, en una cubierta sostenible vegetal. 1) Sempergreen tepe de Sedum mixto 30 mm, 2) Rollo de sustrato 20 mm, es producido a partir de lana de roca, 3) Drenaje con lámina filtrante de 11 a 20 mm.</p>
		

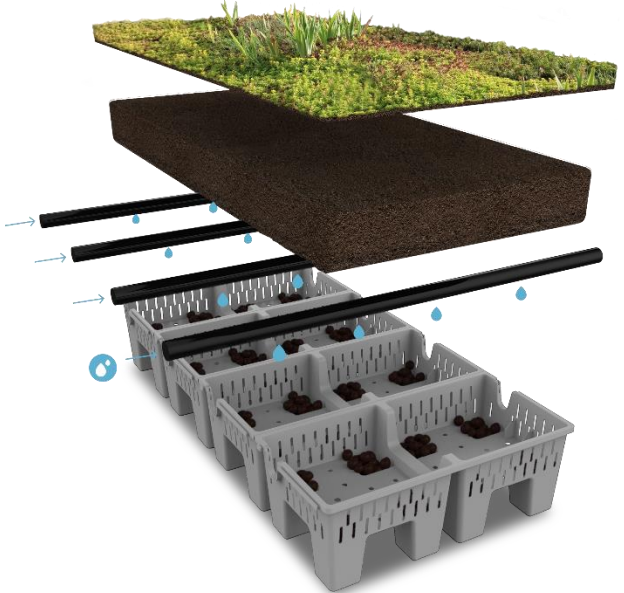

	<p>Cubierta con diversidad</p> <p>Se pueden desarrollar igualmente en inclinación de máximo 15 grados, y está constituido por 3 capas en su construcción, 1) Tepe de vegetación biodiversa Sempergreen de 40 mm, 2) Sustrato para cubierta ajardinada con biodiversidad 150 mm, 3) Drenaje con lámina filtrante de 11 a 20 mm. Este se puede encontrar en 3 versiones.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tepes de sedum con hierbas silvestres. ▪ Tepes de sedum con hierbas. ▪ Tepes de sedum con pasto. 	
<p>Fuente</p>	<p>https://www.sempergreen.com/es</p>	
<p>Empresa</p>	<p>Descripción: Empresa dedicada a la construcción de cubiertas ecológicas y vegetales, La tipología de cubierta que manejan son las extensivas e intensivas.</p>	
<p>Zinco cubiertas ecológicas</p> 	<p>Cubierta verde para Climatización Urbana: Son cubiertas verdes que consiguen garantizar una elevada evapotranspiración, especialmente en periodos secos y calurosos, este tipo de cubierta tiene un sistema de riego incorporado, gracias al efecto de evapotranspiración contribuye a refrescar la temperatura ambiente en las ciudades. En esta se encuentran 7 capas de desarrollo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Plantas tipo Sedum tapizante, 2) Zincoterra floral, a partir de 8 cm, 3) Tubería por goteo 500-L2, 4) Filtro de distribución de agua AF 300, 5) Floraset FS 50, 6) Manta separadora y protectora TSM 32 y 7) Lamina anti-raíces WSF 40. 	

Tipología de cubierta	Sistema “Cubierta Jardín”	Sistema cubierta jardín con Aquatec AT 45	Sistema “Plantas aromáticas”
<p>Descripción</p>			
	<p>El sistema “Jardín” es una construcción multifuncional que le permite la realización de casi todo tipo de ajardinamiento, reteniendo agua en abundancia para su riego por capilaridad y difusión. Sirve especialmente para césped, arbustos e incluso árboles, si la capa vegetal corresponde a las necesidades de la plantación.</p>	<p>El elemento de drenaje Aquatec® AT 45 y la manta de capilaridad DV 40 son el corazón de este sistema. El principio básico consiste en la retención de agua en los huecos de la placa Aquatec® llegando hasta el sustrato y la vegetación por capilaridad gracias a los flecos de la manta cuando se requiera.</p>	<p>El sistema de cubierta verde “Plantas aromáticas” no sólo incluye plantas tapizantes sino también hierbas aromáticas formando accents con pequeños arbustos de tomillo, orégano y lavanda. Esta selección de plantas constituye una agrupación vegetal resistente a la sequía y visualmente agradable.</p>
			

	Sistema “Garaje subterráneo”	Sistema “Cubierta transitable de vehículos”
		
	<p>“Cubierta intensiva” con capa de drenaje de alta resistencia y apta para el tránsito de vehículos. Stabilodrain® SD 30 es una placa de drenaje muy estable, con alta resistencia a la presión y es rápida y fácil de instalar por la forma de sus perfiles de conexión laterales.</p>	<p>Las cubiertas transitables en particular requieren soluciones bien diseñadas que garanticen el buen funcionamiento de la cubierta (protección de la impermeabilización, drenaje perfecto, aislamiento térmico y sonoro). Bajo la superficie, las cubiertas absorben las fuerzas de presión horizontales generadas por la aceleración, el frenado y la conducción. El elemento Protectodrain® o Elastodrain® que cubren por completo la superficie, protegen la impermeabilización de la cubierta de todo tipo de cargas dinámicas, incluso durante la fase de construcción.</p>
		 <p>Pavimento (adoquinado) Lecho de gravilla, de 3-5 cm Zahorra Filtro sistema PV Protectodrain® PD 250 Lámina separadora y deslizante TGF 20 (dos capas)</p>
<p>Fuente</p>	<p>https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/</p>	



<p>Empresa</p> <p>Urban ESPORA</p> 	<p>Descripción: Empresa involucrada en desarrollar el vínculo entre la naturaleza y la ciudad, mediante la transformación de los espacios para hacerlos más verdes, más eficientes y acogedores.</p> <p>Sistema: Esas cubiertas de tipo modular son desarrolladas como un todo en uno incluyendo el jardín y suelo técnico. Su instalación solo requiere un aproximado de 18 minutos por metro cuadrado, admite curvaturas de 90º en concavidad y 11º en convexidad, sus módulos cuentan con un sistema de aireación y drenaje integrado.</p> <p>Componentes: 1) Plantación, 2) Sustrato, 3) Sistema de riego más adecuados, 4) Lamina geotextil, 5) Grava de arcilla expandida, 6) Modulo Espora.</p>	
<p>Características</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema rápido y sencillo de instalación. ▪ No requiere mano de obra especializada. ▪ Bajo coste económico. ▪ Flexibilidad, se adapta a toda superficie. ▪ Instalación directa sobre cubierta. ▪ Crea una cámara de aire aislante. ▪ Funciona como suelo técnico. ▪ Permite precultivo. ▪ Mantiene la humedad con bajo consumo. 	
	<p>Especificaciones técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Materiales: HDPP Polietileno de alta densidad reciclado. ▪ Dimensiones: 600x300x100 mm ▪ Peso máximo en saturación de agua: 65 kg/m². ▪ Retención de agua en celdas: 3.6 l/m². ▪ Resistencia: superior a 1500 kg/m². 	

ESTADO DE LA CUESTIÓN

	<ol style="list-style-type: none"> 1. COMBINACIÓN DE PLANTA: adecuado para una alta gama de planta. 2. SUSTRATO: desde 5 cm de espesor, que puede recrearse para plantas de mayores necesidades instalando borduras. 3. RIEGO INCORPORADO: mantiene la humedad continua a través de tubería enterrada de goteos integrados. 4. RESERVA DE AGUA disponible para las plantas, almacenada en los depósitos rellenos de arcilla expandida 5. DRENAJE Y AIREACIÓN por orificios de base y laterales 6. MODULO ESPORA: resistente y flexible. Fácil de manejar. Permite pre-cultivo 			
				
	<p>Césped transitable de bajo mantenimiento.</p>	<p>Cubierta extensiva no transitable con Sedum.</p>	<p>Cubierta de biodiversidad.</p>	
<p>Fuente</p>	<p>https://www.urbanespora.com/</p>			

Una vez realizado el estudio de las principales empresas que en España realizan el proceso de instalación de cubiertas vegetales, se realiza una comparación, reflejada en la Tabla 6. En la cual se comparan los sistemas vegetales encontrados, y poder realizar una aproximación al sistema que se podrá implementar en la ciudad de Sevilla. Para el proceso comparativo se toma como base: la flexibilidad del material, sistema de riego, accesibilidad; al igual como factores de tiempo de instalación y costos relacionados con los materiales y de obra.

Tabla 6. Cuadro comparativo de cubiertas vegetales en España. Fuente: Elaboración propia bajo las referentes [70] [71] [44]

Análisis comparativo de los sistemas vegetales.		
Sistema MULTICAPA		Sistema CONTENEDOR DE CULTIVO
		
Material reciclado	Solo con geotextil	Si
Flexibilidad	No	Si
Riego integrado	Si / No	Si
Diversidad de plantas	Si	Si
Accesibilidad	Solo en intensivo / No en extensivo	Si
Tiempo de instalación x m ²	1,5-4 h x m ²	18 min x m ²
Coste de materiales x m ²	80-250€ x m ²	90€ x m ²
Coste mano de obra x m ²	30-70€ x m ²	10€ x m ²

3.3 EFECTOS TERMICOS

Como parte del proceso investigativo, se buscó referentes de sistemas vegetales que fueran objetivo de análisis, de esta manera tomar como guía estos para poder desarrollar la investigación en la ciudad de Sevilla.

3.3.1 CASO 1, SINGAPUR.

Singapur, mejor conocida a nivel mundial como la ciudad jardín, que durante los últimos años se ha visto envuelta en un crecimiento de su población bajo un territorio limitado. En esta el gobierno ha adoptado por una alta densificación en altura en su suelo, de la misma manera ha desarrollado estrategias pasivas que den paso a un desarrollo armónico con el medio ambiente, que permita mitigar riesgos como lo es el de la isla de calor urbano [73].

Para el desarrollo de este tipo de programa el NParks⁷ ha desarrollado estrategias mediante la implementación de sistemas vegetales que permitan aumentar la calidad del aire. La creación de mejores condiciones térmicas y de mitigación del efecto de isla de calor urbano. El programa de reverdecimiento de cubiertas se ha desarrollado en múltiples tipologías de proyectos, residenciales, comerciales e institucionales [74].

Un análisis de la temperatura de la superficie antes y después de la instalación de una cubierta verde demostró un decrecimiento de temperatura una vez se realizó su instalación.



Figura 6. Instalación de cubierta vegetal. Antes y después. Fuente: W. Nyuk Hien, T. Puay Yok, & C. Yu, 2007

⁷ NParks National Park Board, La junta de parques nacionales, perteneciente al gobierno de Singapur responsable de mejorar y gestionar los ecosistemas urbanos a los que el gobierno les ha denominado como una "Ciudad Naturaleza". Encargado de monitorear y coordinar medidas de mejoramiento de la biodiversidad en el paisaje urbano de Singapur [74].

El ejemplo tomado se ha implementado en un edificio destinado al aparcamiento de autos de unidades residenciales contiguas (Figura 6).

La metodología que se implementó para la medida de temperatura se basó primero en la toma de muestras sin cubierta vegetal durante 22 días y luego con cubierta vegetal durante 18 días. Los instrumentos utilizados fueron dos pares termoelectricos, dos registradores de datos Yokogawa y un registrador de datos Hobo (Figura 7). Se realizó la toma de seis parámetros meteorológicos como lo fueron, temperatura del aire ambiente, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento y precipitaciones [73].

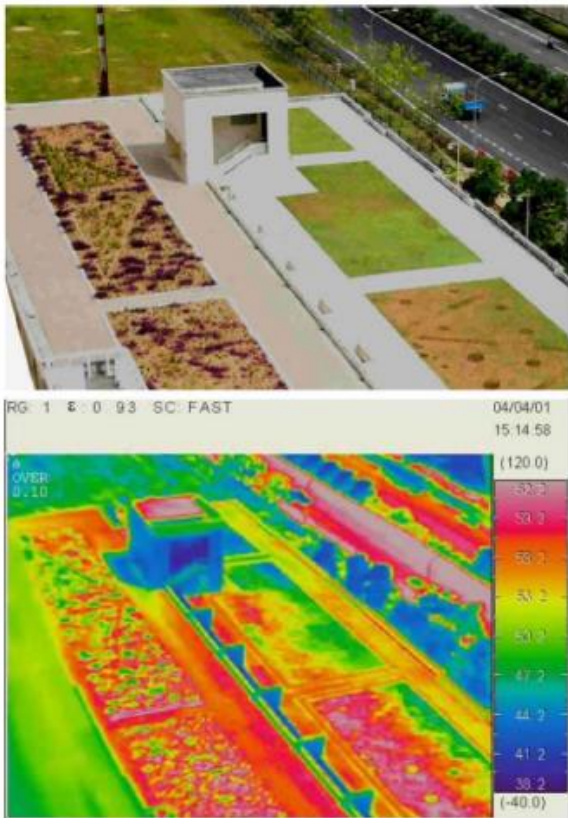


Fig. 44. Comparison of G1 and G3 (1 April 2004).

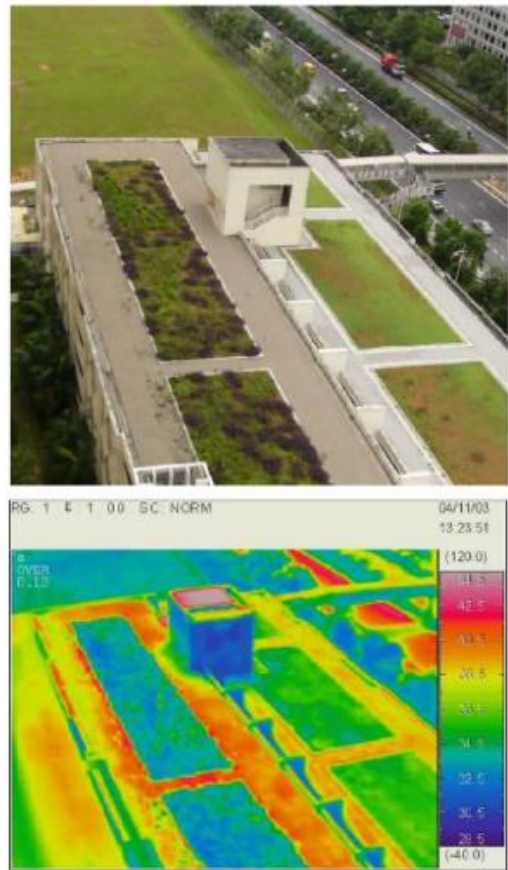


Fig. 45. Comparison of G1 and G3 (3 November 2004).

Figura 7. Comparaciones térmicas en cubierta. Fuente: W. Nyuk Hien, T. Puay Yok, & C. Yu, 2007

En las mediciones han tenido en cuenta las siguientes mediciones:

- Temperaturas del aire ambiente y humedad relativa medidas por encima de la superficie del tejado a una altura de 300 mm;
- Temperaturas del aire ambiente y humedad relativa medidas por encima de la superficie del tejado a una altura de 1200 mm;
- La radiación global reflejada de la azotea medida por encima de la superficie de la azotea a una altura de 800 mm.

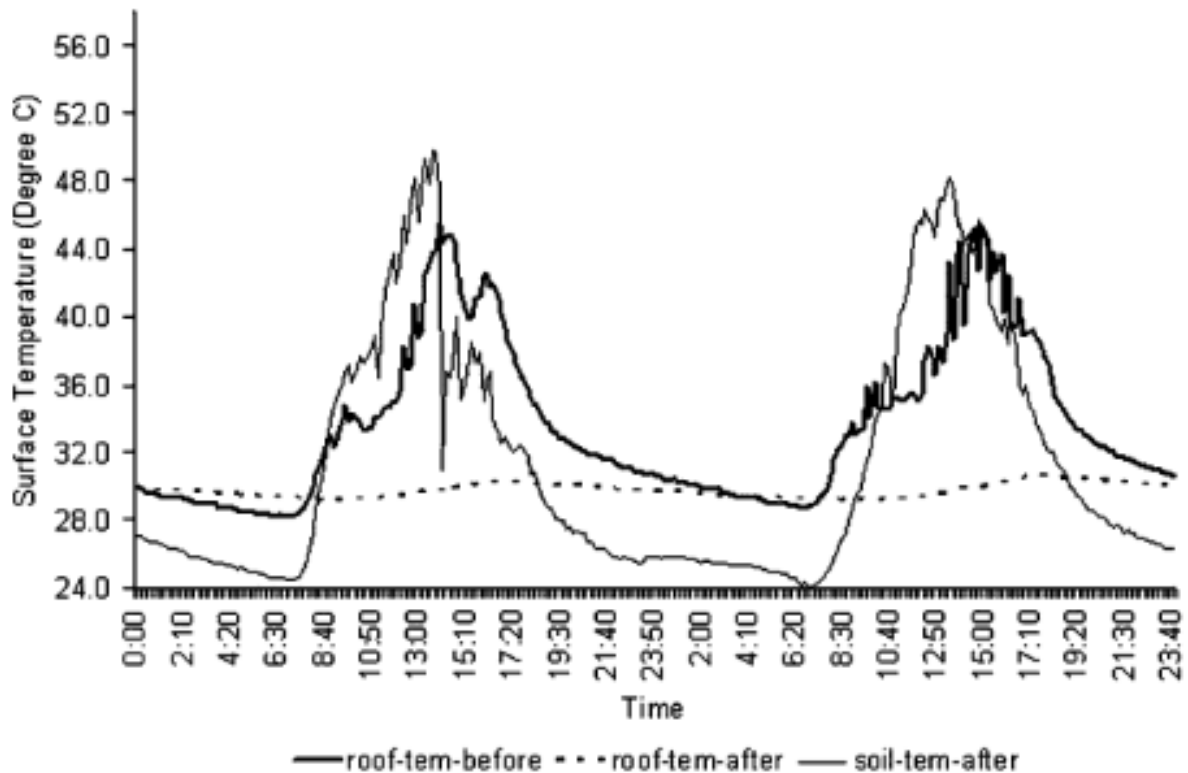


Figura 8. Comparaciones de temperatura de superficie. Fuente: W. Nyuk Hien, T. Puay Yok, & C. Yu, 2007

Como conclusión principal del estudio sobre esta utilización de cubiertas vegetales se registró una reducción de la temperatura, en relación con las mediciones realizadas sin ningún tipo de sistema vegetal. Se llegó a registrar una diferencia de hasta de 18 °C en la superficie como se puede observar en la figura 8. El flujo de calor de la estructura en cubierta se logró reducir considerablemente después de la instalación del sistema de cubierta vegetal extensa, logrando detener más de un 60% de la ganancia de calor; De igual manera la luminosidad reflejada en los edificios circundantes se redujo debido a la instalación del sistema [73].

3.3.2 CASO 2, SYDNEY – RIO DE JANEIRO.

En este caso de estudio, la investigación adoptó un enfoque experimental cuantitativo para la recopilación de datos. La metodología utilizada comprende el uso de tecnologías adaptables para ayudar a la mitigación de problemas causados por el aumento de la urbanización y el cambio climático, como el efecto de isla de calor urbano y el aumento de la temperatura al interior de las viviendas [75].



Fig. 1. Green roof and green walls experimental setup. Left-hand side – Rio de Janeiro, right-hand side – Sydney. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Figura 9. Simulación de sistemas vegetales en Rio de Janeiro y Sídney. Fuente: R. Castiglia Feitosa & S. J. Wilkinson, 2018

Durante el desarrollo de la toma de muestras se emplearon dos prototipos utilizados en Rio de Janeiro y Sídney como se observa en la figura 9. En estos prototipos se realizó el experimento, en la primera localizada en sureste de Brasil con temperaturas dentro de 15 a 30 °C, logrando en algunas ocasiones picos de hasta 40 °C; y la segunda localizada al sureste de Australia con un rango de temperatura entre 8 y 27 °C.

Tabla 7. Resultados del estudio en Rio de Janeiro. Fuente: R. Castiglia Feitosa & S. J. Wilkinson, 2018

Table 1

Rio de Janeiro maximum, minimum and average limits of temperature, relative humidity and heat index.

	Temperature (°C)		Relative humidity (%)		Heat index (°C)	
	Vegetated	Non-vegetated	Vegetated	Non-vegetated	Vegetated	Non-vegetated
Maximum	39.2	45.3	95.0	93.8	49.2	57.5
Minimum	18.2	17.3	30.4	26.3	18.2	17.2
Average	27.0	28.1	72.2	66.6	29.5	30.9

En la tabla 7, se muestra el resumen de los registros encontrados entre la temperatura, Humedad relativa y índice de calor, dentro de las categorías con y sin vegetación. Con respecto a la humedad relativa fueron siempre mayores con la presencia de vegetación, en cuestiones de temperatura y índice de calor siempre se mantuvo a la baja cuando la vegetación estuvo presente. La reducción en la temperatura se vio hasta en 7 °C durante los máximos percibidos al pasar de 45.3 a 39.2 °C [75].

Tabla 8. Resultados del estudio en Sídney. Fuente: R. Castiglia Feitosa & S. J. Wilkinson, 2018

Table 2

Sydney maximum, minimum and average limits of temperature, relative humidity and heat index.

	Temperature		Relative humidity		Heat index	
	Vegetated	Non-vegetated	Vegetated	Non-vegetated	Vegetated	Non-vegetated
Maximum	33.0	42.0	92.5	89.5	36.3	55.9
Minimum	7.2	7.4	19.9	17.6	5.7	5.8
Average	18.9	19.8	67.0	61.6	18.7	19.7

En la tabla 8, se dan los resultados del experimento desarrollado en este caso en Sídney, donde los resultados arrojados siguen la tendencia de los logrados en Rio de Janeiro, demostrando que la temperatura y el índice de calor disminuye considerablemente hasta 9 °C en situaciones con temperatura máxima bajo la presencia de elementos vegetales.

Como conclusión principal, en ambas situaciones los resultados mostraron un buen potencial para el uso de sistemas modulares con vegetación en la disminución de la temperatura y el índice de calor. En el resultado arrojado en Río de Janeiro se mostró que la implementación dual de cubierta y fachadas vegetales puede disminuir las condiciones de calor hasta en un 10%. En ambos casos se observó el aumento de la humedad relativa debido a las transpiraciones de las plantas.

3.3.3 CASO 3, ROMA (ITALIA) [76]

En este caso de estudio se analizan los resultados obtenidos con relación a las cubiertas vegetales en Roma, Italia. El área elegida para el estudio es el entorno urbano de Flaminio. El área se muestra en la Figura 10 donde se aplica la cubierta vegetal en todas las edificaciones. La superficie considerada es de unos 735.000 m² y se caracteriza por la presencia de un río en el lado oeste por donde llega el viento.

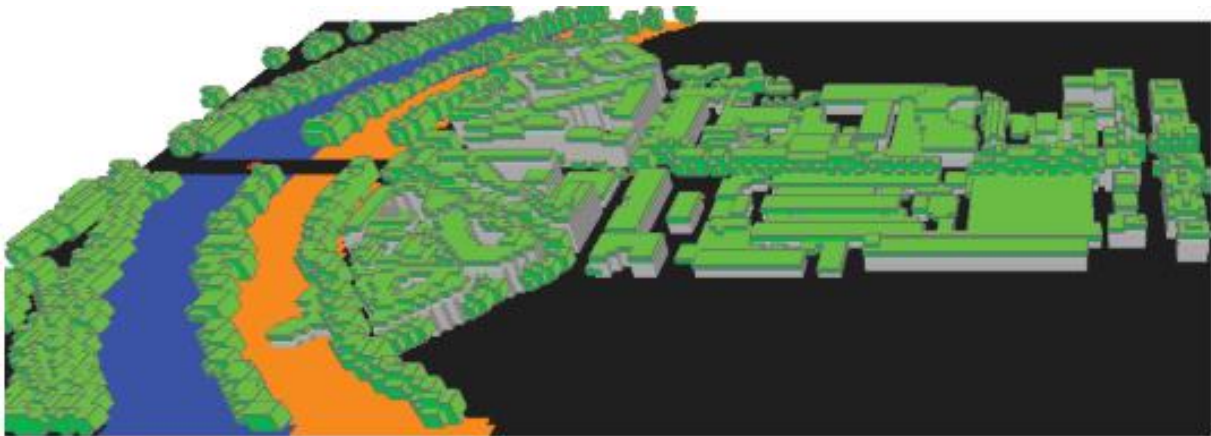


Figura 10. Modelo ENVI-met desarrollado para el caso 3, en Roma. Fuente: G. Battista, E. M. Pastore, L. Mauri, & C. Basilicata, 2016

El análisis del perfil de temperatura vertical se realizó en el punto R que se muestra en la Figura 11 colocado en un cruce de calle. En la Figura 12 se muestran los resultados considerando una altitud normalizada con la altura media de los edificios (Hm) igual a 12m. En la Figura 12 se comparan los resultados con y sin el techo verde: ST significa la configuración estándar y GR el techo verde.

Los resultados muestran que con el aumento de la radiación solar hay una disminución de los efectos del techo verde. Esto se debe a la reducción del contenido de agua con el aumento del fenómeno de evapotranspiración debido al aumento de la radiación solar. De hecho, a las 2 pm no hay diferencias significativas entre la configuración estándar y la de techo verde.

En otro horario del mismo día hay una disminución de la temperatura del aire con los escenarios de techo verde. Las ventajas de este caso son evidentes por la mañana con una disminución de la temperatura del aire de hasta 0,5 ° C a nivel del suelo y hasta 0,3 ° C a la noche.

La adopción de techo verde permite disminuir la temperatura del aire con el aumento de la altitud.



Figura 11. Localización de los receptores en el modelo 3D. Fuente: G. Battista, E. M. Pastore, L. Mauri, & C. Basilicata, 2016

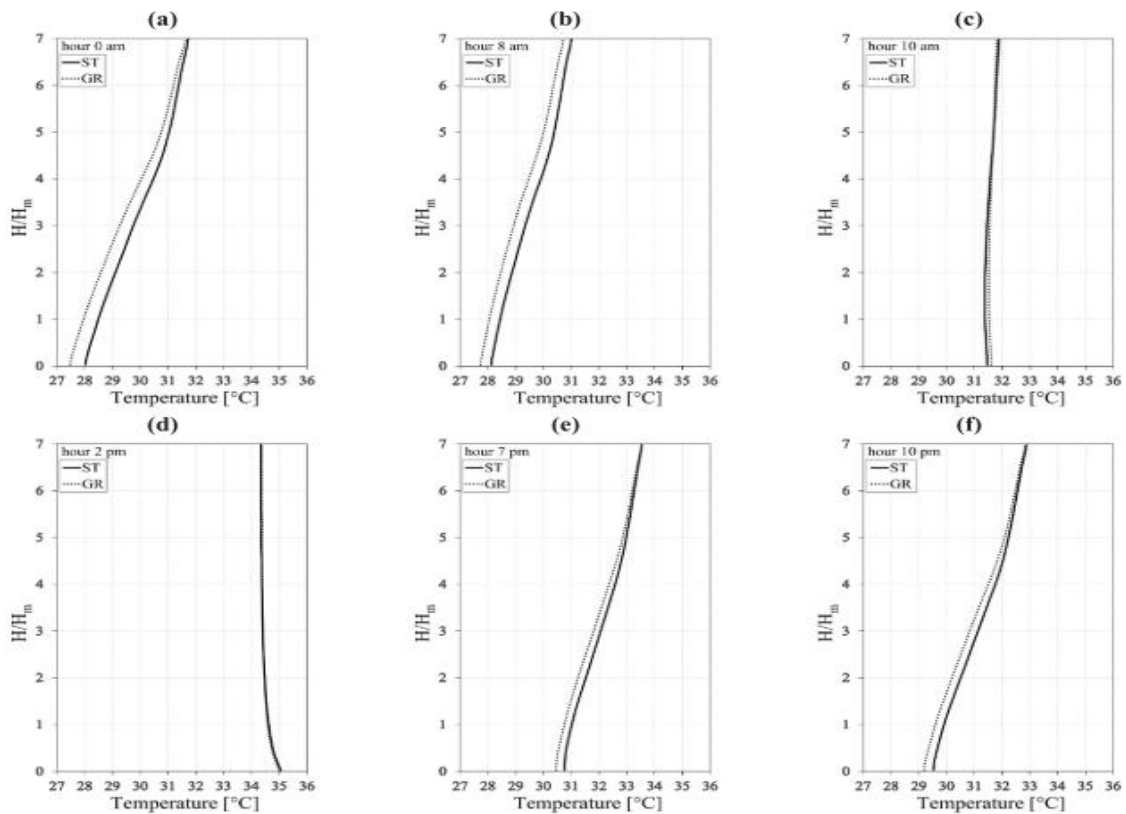


Figura 12. Temperatura del aire vertical en el punto R en diferente horario. Fuente: G. Battista, E. M. Pastore, L. Mauri, & C. Basilicata, 2016

Como conclusiones basadas en este estudio, se analizó el impacto de los techos verdes para la mitigación del efecto isla de calor urbano. El análisis numérico se validó mediante

medidas experimentales. El área de estudio está ubicada en Roma y tiene una superficie de 0,218 km² y unos 3000 habitantes. Los resultados mostraron una disminución del perfil de temperatura del aire vertical de 0,5 ° C por la mañana y aproximadamente 0,3 ° C por la noche.

Se notó que no hay una diferencia de temperatura del aire entre el escenario estándar y el de techo verde a las 2 pm cuando hay la máxima radiación solar. Esto se debe a la reducción del contenido de agua con el aumento del fenómeno de evapotranspiración. En la otra hora del día hay una disminución de la temperatura del aire con los escenarios de techo verde.

3.3.4 CASO 4, LJUBLJANA, ESLOVENIA.[77]

Este caso de estudio se desarrolla en la primera instalación de P+R⁸ en Ljubljana, la cual se construyó en la ubicación de Dolgi Most en 2001 (figura 13). En la actualidad, hay cinco emplazamientos urbanos activos de P + R, y P + R Barje representa el más grande. Está ubicado a tres kilómetros del centro de la ciudad y equipado con elementos de movilidad sostenible.

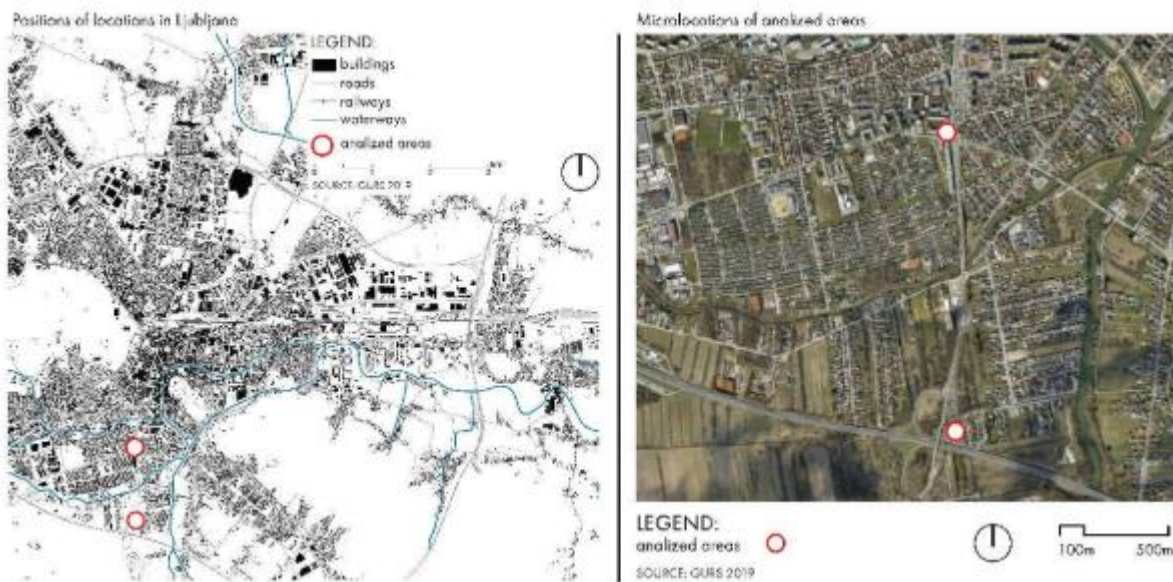


Figura 13. Localización del P + R en Ljubljana L1 y L2. Fuente: A. Fikfak, K. Lavtižar, J. P. Grom, S. Kosanović, & M. Zbašnik-Senegačnik, 2020

Dentro de las herramientas utilizadas para estudio se tomaron en cuenta: Imágenes de teledetección: se utilizaron imágenes de satélite de Google de P + R Barje (L1) y Trnovo aparcamiento (L2) (Figura 14) e imágenes de ortofoto de la base de datos de teledetección, ortofotos de hoja DOF050 2018. Los datos de teledetección se utilizaron para un dibujo de arte lineal manual de la situación espacial en Autodesk AutoCAD 2019. Además, elaboraron una representación espacial del área de estacionamiento de P + R Barje. Se combinaron hojas

⁸ En relación con el significado de P + R para la planificación urbana, Žaucer et al. Destaca lo siguiente: “la multifuncionalidad del espacio, la mezcla de usos y el adecuado entrelazamiento de funciones permiten que el nodo P + R esté vivo, agradable y seguro independientemente de la parte del día, época del año o día de la semana. Un P + R exitoso es un área urbana integrada en un asentamiento. Es un espacio público, que también es un lugar de encuentro, socialización y lazos mutuos en la comunidad local”. [89]

de imágenes DOF050 que cubrían el área y se recortaron en el área de estudio utilizando ESRI ArcGIS 10.6 y la herramienta de recorte ArcToolbox.

La base de datos ENVI-met de materiales y vegetación 3D, se utilizó en ENVI-met SCIENCE en ENVI-met SPACES para el dibujo manual del mapa de celdas en el tamaño de 100 × 100 × 20 píxeles. Realizaron el proceso de mapeado de la vegetación y las superficies existentes utilizando datos cartográficos de entrada. La selección de materiales y la vegetación circundante reflejó las condiciones reales de la zona. La elección de la vegetación en la zona de aparcamiento varió en las distintas soluciones.

Las mediciones de temperatura se tomaron en las cabinas de los vehículos en las áreas de estacionamiento P + R Barje (L1) y el estacionamiento de Trnovo (L2) bajo diversas temperaturas y condiciones climáticas (junio-agosto de 2018). Se realizaron observaciones y análisis in situ con trabajo de campo y registro fotográfico.

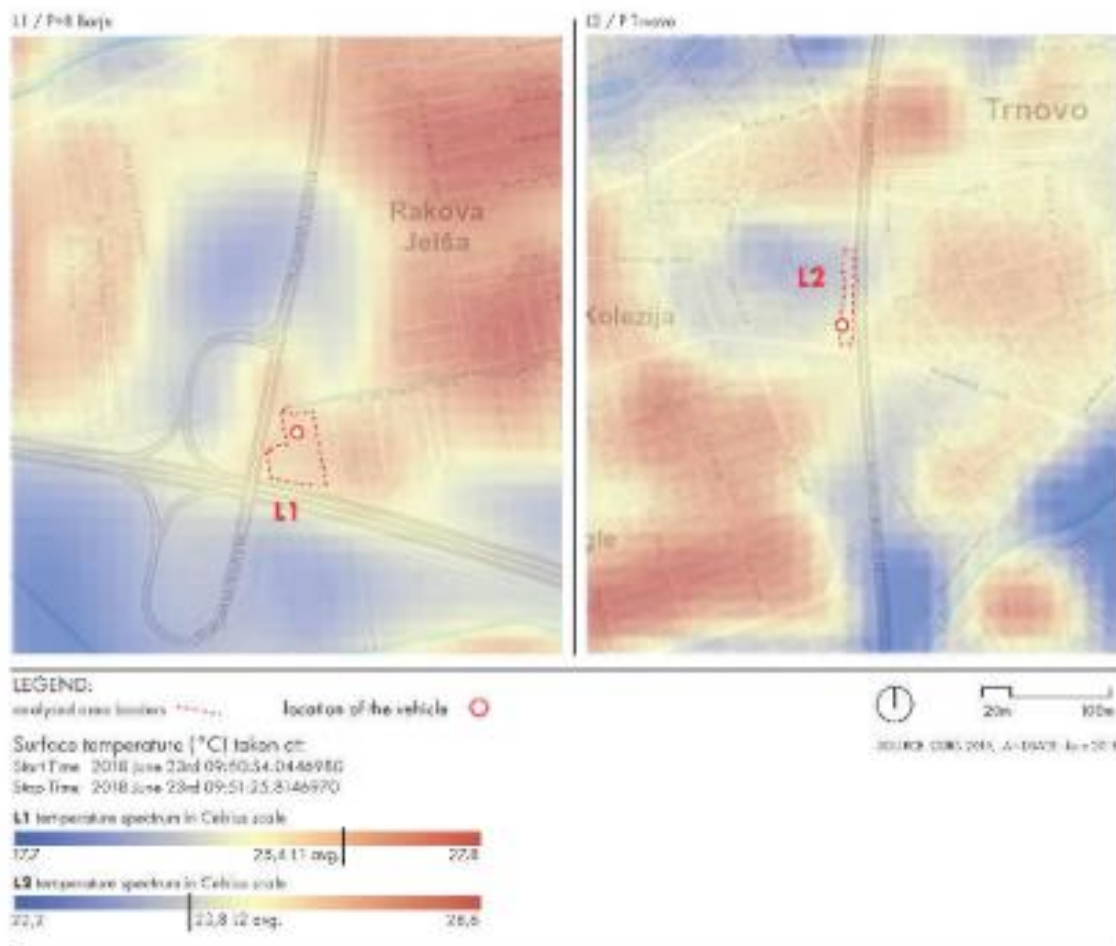


Figura 14. Ljubljana. Isla de calor urbana. L1 Barje, L2 Trnovo. Fuente: A. Fikfak, K. Lavtižar, J. P. Grom, S. Kosanović, & M. Zbašnik-Senegačnik, 2020.

Como conclusiones, la vegetación en el estacionamiento jugó un papel clave para evitar el sobrecalentamiento de la cabina del vehículo (figura 15). La temperatura en la cabina de los vehículos estacionados en el estacionamiento verde L2, medida a las 14.00 horas, siempre fue significativamente más baja que la temperatura en el lote L1 sin sombra. Para

evitar el sobrecalentamiento de la cabina de un vehículo, parece vital proporcionar sombra durante todo el tiempo de estacionamiento. Este prerequisite se adoptó e implementó en la segunda etapa de la investigación, que consistió en modelar la vegetación en el lote L1 para mejorar las condiciones relacionadas con la temperatura.

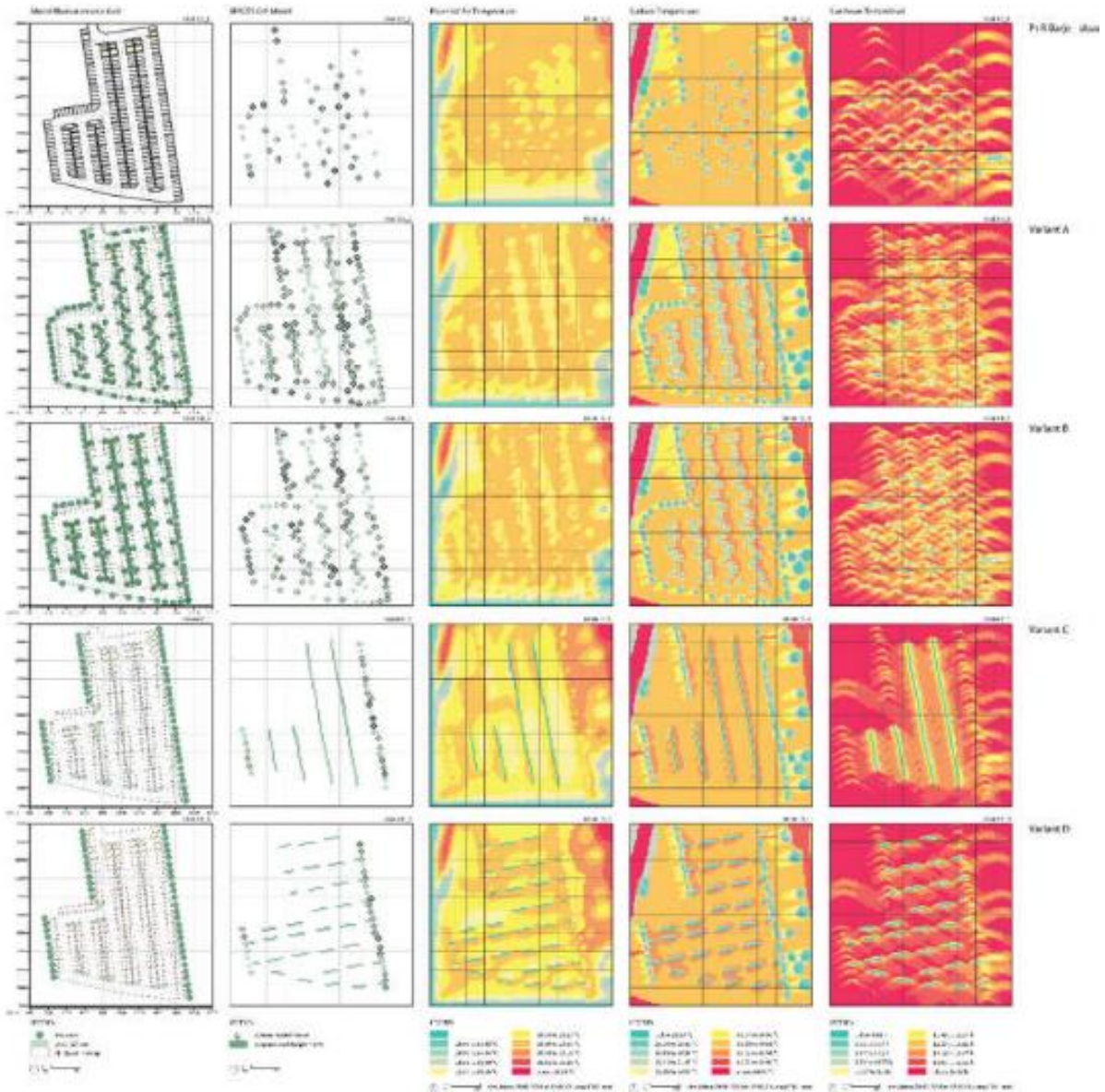


Figura 15. Modelación de reverdecimiento urbano en L1 Barje. Fuente: A. Fikfak, K. Lavtižar, J. P. Grom, S. Kosanović, & M. Zbašnik-Senegačnik, 2020.

Este estudio también logra demostrar las interrelaciones entre la vegetación en las áreas de estacionamiento abiertas, la temperatura dentro de los vehículos estacionados y el efecto isla de calor urbano local. Este además se conceptualizó como una investigación en dos etapas. La primera etapa (preliminar) se ocupó de la medición y análisis de datos de temperatura en dos estacionamientos abiertos cercanos en la ciudad de Ljubljana, uno de éstos era el área espacial de investigación principal (P + R Barje, L1), y el otro (Trnovo estacionamiento, L2) se utilizó como comparación. La segunda fase del estudio se dedicó a modelar la vegetación en la ubicación principal L1.

3.3.5 CASO 5, BELGRADO, SERBIA [68]

En este caso de estudio se ha basado en cuatro ubicaciones en vecindarios urbanos existentes dentro del área metropolitana de Belgrado con diferentes estructuras urbanas, número de pisos y porcentaje de superficies verdes y asfaltadas. Las ubicaciones eran representativas de las formas urbanas típicas del área metropolitana de Belgrado (figura 16). Las ubicaciones fueron:

- BGD01 - parte del territorio del municipio de Nuevo Belgrado - Bloque 70,
- BGD02 - parte del territorio del municipio de Stari Grad - Donji Dorcol, el bloque comprendido por Visokog Stevana, Cara Urosa, Dunavska y Panciceva;
- BGD03 - parte del territorio del municipio de Vracar, la manzana que abarca las calles Makenzijeva, Baba Visnjina, Njegoseva y Nevesinjska,
- BGD04 - parte del territorio del municipio de Zemun - el barrio urbano de Galenika.



Figura 16. Imágenes satelitales con sus delimitaciones en Belgrado. Fuente: M. D. Lalošević, M. S. Komatina, M. V Miloš, & N. R. Rudonja, 2018

En la investigación actual, el modelado de datos fue realizado por ENVI-met Versión 4 (Versión Summer17). El modelo de base inicial, denominado modelo de realidad (RC), contenía todas las características de la condición existente - la posición, tamaño y forma de los edificios, posición y tipo de plantas, distribución de materiales de superficie y tipos de suelo - que representan la condición actual para cada ubicación urbana. El modelo RC se utilizó como línea de base para la comparación con las estrategias de reacondicionamiento de techos verdes.

El segundo modelo, RC + techo verde extenso (RC + EX), tenía todas las mismas características que el modelo de línea de base, pero también contenía el elemento adicional de techos verdes extensos. El tercer modelo, techo verde intensivo RC + (RC + IN), comprendía el modelo de línea de base con cubiertas verdes intensivas añadidas. El cuarto modelo, Future model (F), incluyó el modelado de cubiertas verdes extensivas y características alteradas para carreteras y pavimentos, en el que se modeló el uso de materiales más fríos, mientras que el quinto modelo, Futureplus (F +), es una variante con cubierta verde intensiva, techos y materiales frescos en espacios públicos. (figura 17)

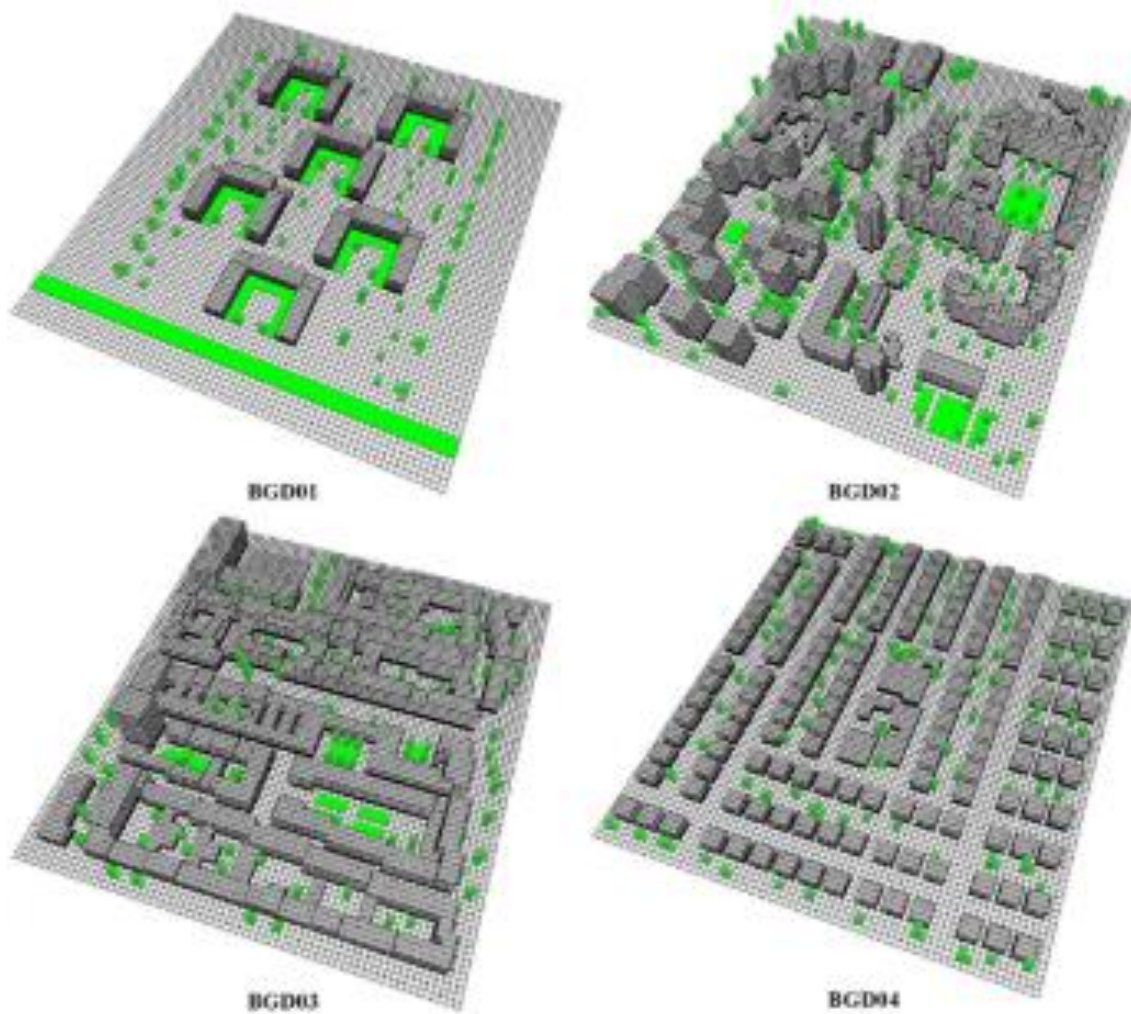


Figura 17. Modela 3D, realizado en ENVI-met. Fuente: M. D. Lalošević, M. S. Komatina, M. V Miloš, & N. R. Rudonja , 2018

Los modelos predicen que las reducciones de temperatura a nivel peatonal logradas mediante la utilización de un sistema de cubiertas verdes en estructuras urbanas de menor nivel (BGD04) serían mayores que en los otros edificios estudiados, que tenían más pisos (BGD01, BGD02, BGD03). Esto podría explicarse por el hecho de que la distancia entre el techo y el nivel peatonal es menor en BGD04 que en los edificios de mediana altura (BGD01 y BGD03) o las estructuras de gran altura en BGD02. Por tanto, la influencia de las cubiertas verdes, tanto extensivas como intensivas, fue más pronunciada en BGD04 a nivel peatonal.

Los resultados fueron más pronunciados a nivel del techo que a nivel de peatones tanto para los techos verdes extensivos como para los intensivos (figura 18). Los edificios excepcionalmente bajos fueron una excepción, e. gramo. un almacén subterráneo en BGD03 con una altura de solo 1 m sobre el nivel del suelo, donde el efecto de implementar un techo verde intensivo se sintió más a nivel de peatones que a 2,5 m sobre el nivel del techo verde.

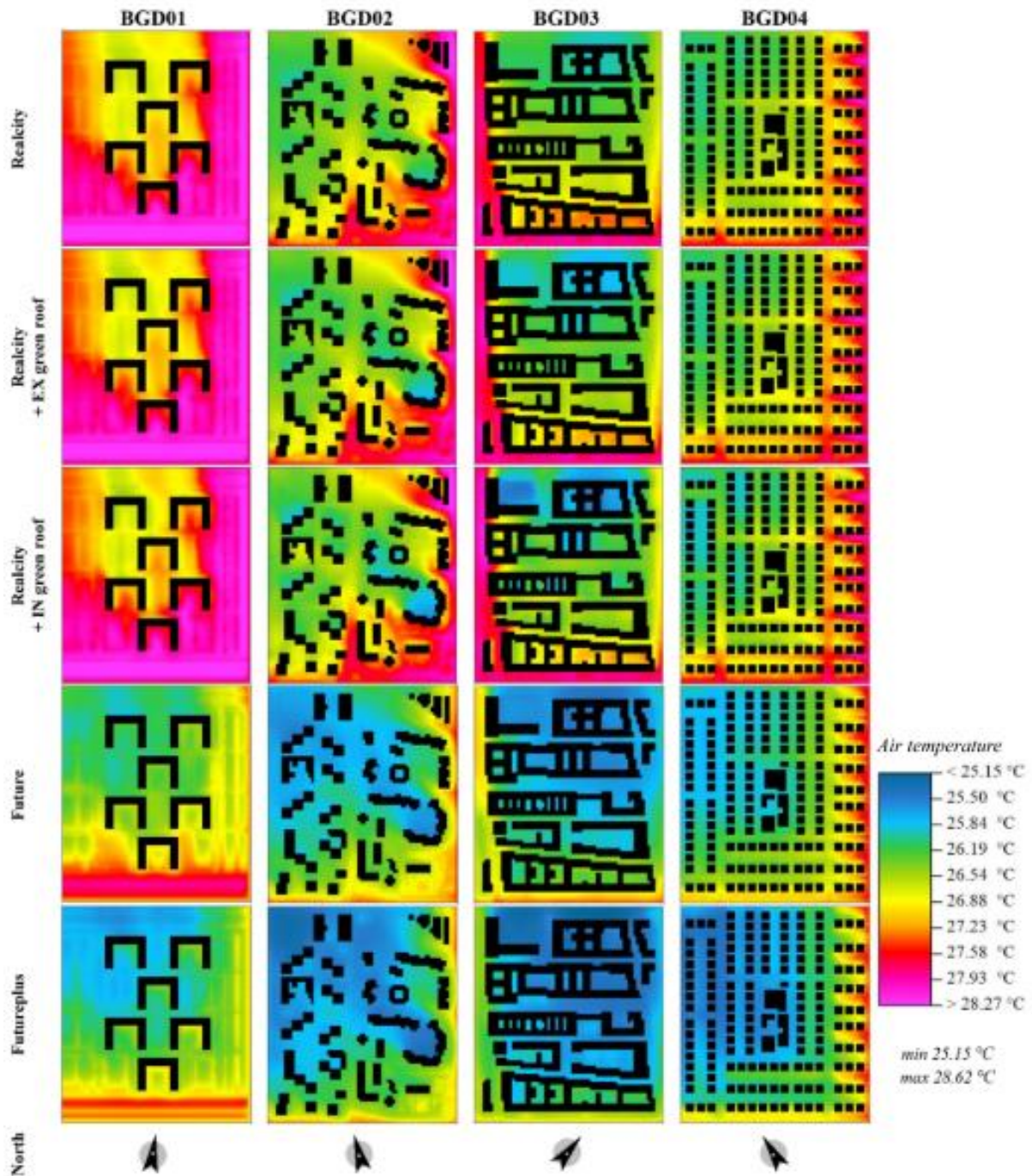


Figura 18. Resultados de la temperatura ambiente con las variaciones en cubierta. Fuente: M. D. Lalošević, M. S. Komatina, M. V Miloš, & N. R. Rudonja, 2018.

3.3.6 ANALISIS DE CONCLUSIONES

En todos los casos estudiados, se logró comprobar el papel que cumplen las cubiertas vegetales como sistema de enfriamiento pasivo a nivel urbano. Estos sistemas vegetales cumplen el rol de proporcionar aislamiento, controlando el calor que alcanza a entrar a una edificación. Por otro lado, el enfriamiento del aire exterior es producido ya que estos sistemas están en la envolvente de las edificaciones, estos logran enfriar el aire alrededor de las

edificaciones, de esta manera generar un microclima urbano. Esto producido gracias al proceso de evapotranspiración de la vegetación que esta contiene.

Por otro lado, encontramos otros beneficios directos e indirectos de las cubiertas vegetales reflejadas en la tabla 9, en la cual se logra sacar en conclusiones del análisis de los casos de estudio visualizados.

Tabla 9. Beneficios directos e indirectos de las cubiertas vegetales. Fuente: Elaboración propia.

Beneficios directos	Beneficios indirectos	Beneficios para la salud
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor eficiencia energética. Las cubiertas vegetales tienen una transmitancia térmica más baja y una mayor inercia térmica que en el caso de las cubiertas convencionales, lo que se traduce en un mayor aislamiento. • Ahorro dinero. Reducen hasta 5 grados la temperatura interior de un edificio en verano, así como la mantiene en invierno, ahorrando hasta 500 €/m² al año. (Akira Hoyano) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen el efecto de isla de calor de las grandes ciudades (Dr. Horoyuki Yamada). • Habilitan espacios urbanos no usados. • Mejoran la gestión de aguas lluvias. Están logran reducir el caudal de escorrentía urbana. • Uso de elementos reciclados. Los elementos de drenaje de las cubiertas están fabricados con materiales reciclados, como el polietileno. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 m² de cubierta vegetal genera el oxígeno requerido por una persona en todo el año (Darlington, 2001). • 1 m² de cubierta vegetal atrapa 130 gramos de polvo por año. (Darlington, 2001). • Una cubierta de 60 m² puede llegar a filtrar 40 toneladas de gases nocivos. Al igual que atrapar y procesar 15 kg de metales pesados. (Wolverton et al. 1989) (Darlington, 2001).

4. CIUDAD DE ESTUDIO

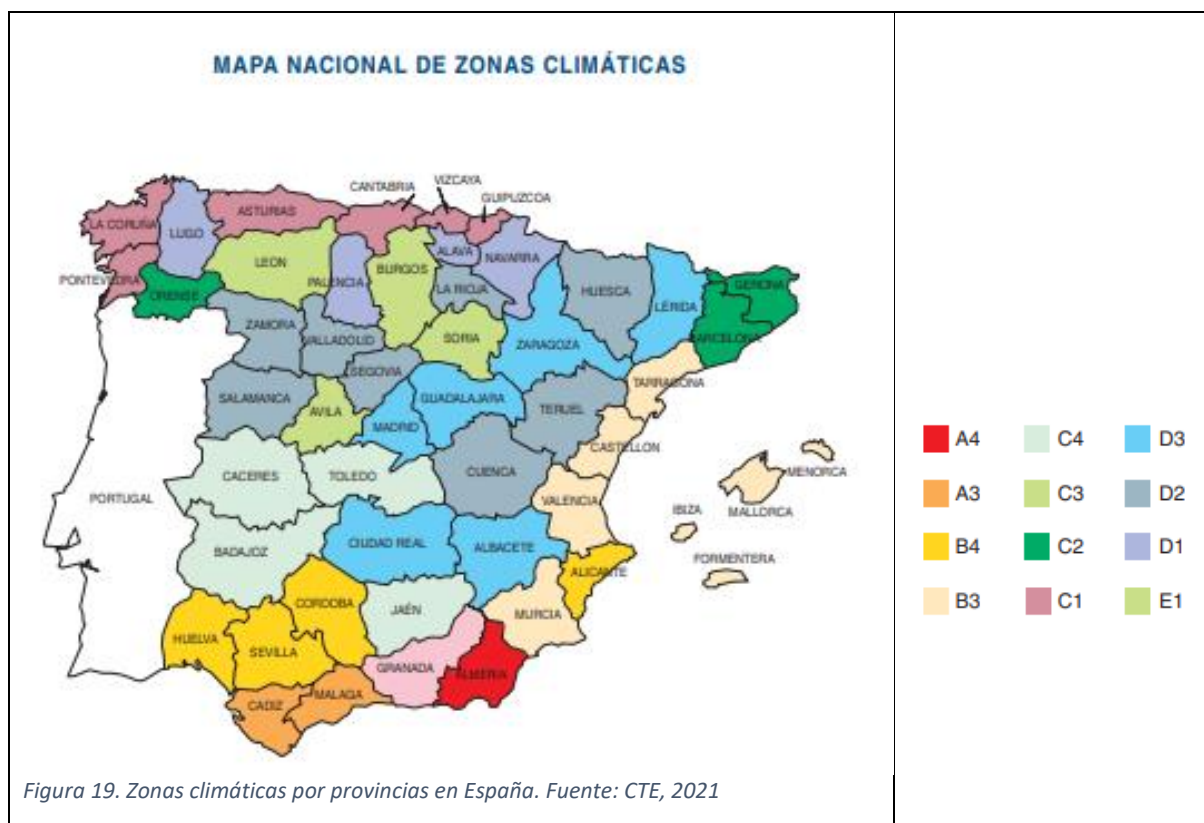
4. CIUDAD DE ESTUDIO

4.1 CLIMA MEDITERRÁNEO DE SEVILLA, ESPAÑA

Sevilla es una ciudad localizada en la región de Andalucía en el suroeste de España. Durante las últimas décadas, el área urbana de Sevilla ha experimentado un crecimiento importante de su población, llegando a expandirse notablemente en su área metropolitana [78]. Con 140 km² de área urbana y una población de alrededor de 700.000 habitantes, cuenta con una densidad poblacional de alrededor de 5000 ciudadanos/km²[79].

Según la clasificación climática de Köppen-Geiger⁹, el clima de la ciudad de Sevilla es considerado como un clima mediterráneo de verano (Csa), éste comparte características dentro de Andalucía con Málaga, Córdoba, Granada, Huelva, etc[80]. Sevilla cuenta con 3.526 horas de sol al año, y una irradiación solar de 5.9 kWh/m²día[81].

El clima C – Templado o mesotérmico, su variante CS – verano seco: Clima mediterráneo, es característico por que se da una disminución considerable de las precipitaciones en verano, y dentro de este el Csa – Mediterráneo típico (verano cálido). Como se observa en la Figura 20, la temperatura media del mes más cálido ronda los 22°C con una máxima de 36°C, con lluvias estacionales y temperaturas cálidas en verano.



⁹ La clasificación climática de Köppen-Geiger fue creada en 1900 por el geógrafo ruso Wladimir Peter Köppen, consiste en una clasificación climática natural mundial que identifica cinco tipos de climas principales, subdivididos en un total de treinta clases con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan cada clima y con ellos el tipo de vegetación existente en ellas[90].

Según CTE¹⁰, Sevilla se encuentra a 9 metros sobre el nivel del mar, el clima es templado y cálido. Este se encuentra catalogado dentro del mapa nacional de zonas climáticas como B4 (Figura 19). En este se estipulan las medidas que deberán de empezar a utilizarse para un escenario futuro donde las edificaciones van a requerir aislamientos en las diferentes fachadas según la zona climática en la que se encuentra.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	10.3	11.6	14.2	16.6	20.7	25.7	28.2	28.4	24.5	20	14	11.3
Temperatura mín. (°C)	5.9	6.8	9	11.2	14.7	19.1	21.3	21.8	19	15.2	9.9	7.4
Temperatura máx. (°C)	15.4	17	19.7	22.2	26.7	32.3	35.3	35.3	30.6	26.2	18.8	16
Precipitación (mm)	50	47	54	51	35	8	2	2	27	69	61	77
Humedad(%)	74%	67%	63%	60%	51%	42%	39%	41%	52%	63%	69%	75%
Días lluviosos (días)	5	4	4	5	4	1	0	0	3	5	5	5

Figura 20. Sevilla Tabla Climática, Fuente: CLIMATE-DATA.ORG, 2021.

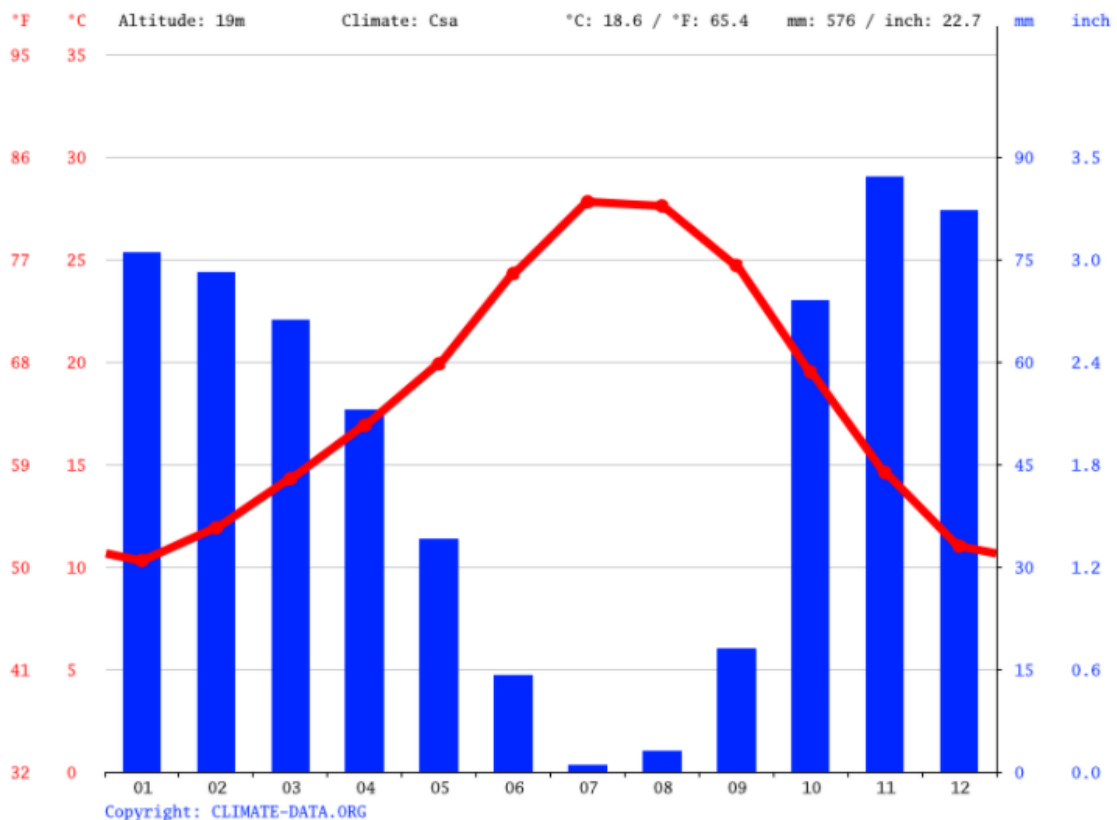


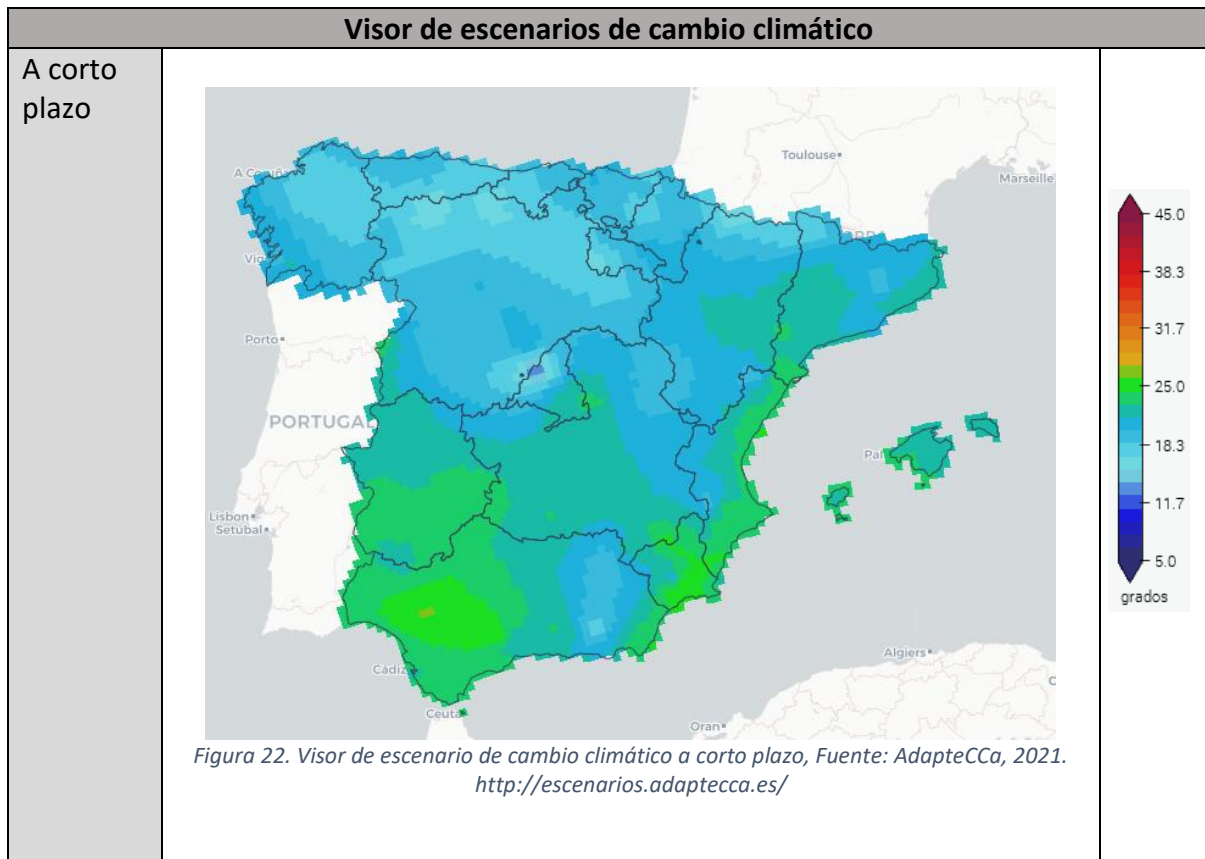
Figura 21. Sevilla Climograma, Fuente: CLIMATE-DATA.ORG, 2021.

Los meses más secos se presentan de junio a septiembre, siendo el mes de julio el más seco. En este solamente se encuentra 2mm de precipitación. Por otro lado, el máximo es diciembre con 77mm. (Figura 21).

¹⁰ CTE [91], Código técnico de la edificación, se realiza mediante el Anexo 2 – Zonas climáticas por provincias, una clasificación por provincias, una clasificación de las diferentes zonas climáticas que se presentan en España.

Según AdapteCCA¹¹, mediante el visor de escenarios de cambio climático (Tabla 10), siguiendo los lineamientos del PNACC¹², ha recopilado la información climática regional para España, tanto del clima actual como las proyecciones de los distintos escenarios futuros de cambio climático para las próximas décadas, en ésta la comunidad Andaluza y en específico la ciudad de Sevilla se encuentran como los puntos críticos donde los escenarios de cambio climático serán más evidentes.

Tabla 10. Proyección de escenarios de cambio climático en España. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de Adaptecca.es



¹¹ AdapteCCA, es la plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático en España, ha desarrollado el Visor de Escenarios de Cambio Climático, una plataforma para conocer, visualizar y descargar las proyecciones actualizadas para clima futuro de España. Estas proyecciones son realizadas a partir de las proyecciones globales del Quinto Informe de Evaluación del IPCC en el marco de la iniciativa Escenarios PNACC y de la colección de Escenarios PNACC 2017 [92].

¹² PNACC, El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 [93], es un documento desarrollado por el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, en éste se crea el plan de acción a diez años para España, este documento es emitido a la Unión Europea, donde se estipulan los objetivos general de emisiones de gases de efecto invernadero.

A
mediano
plazo

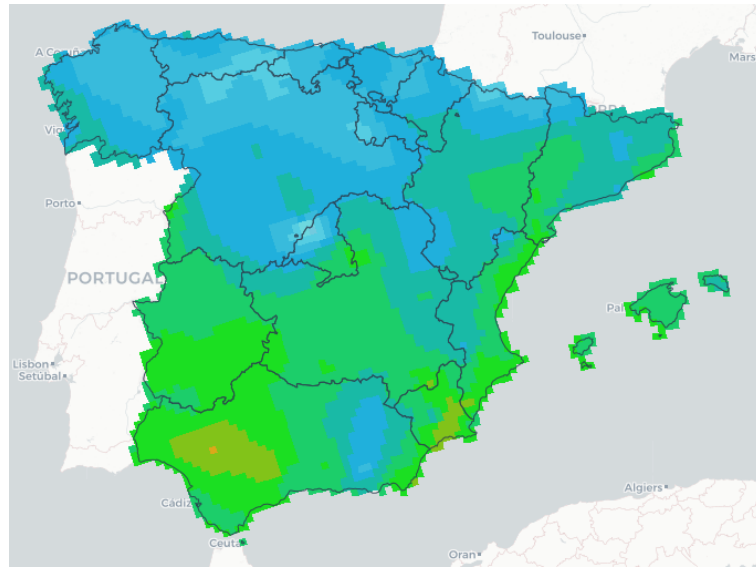
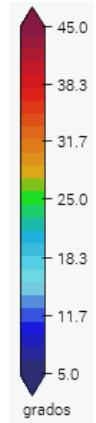


Figura 23. Visor de escenario de cambio climático a mediano plazo, Fuente: AdapteCCa, 2021. <http://escenarios.adaptecca.es/>



A largo
plazo

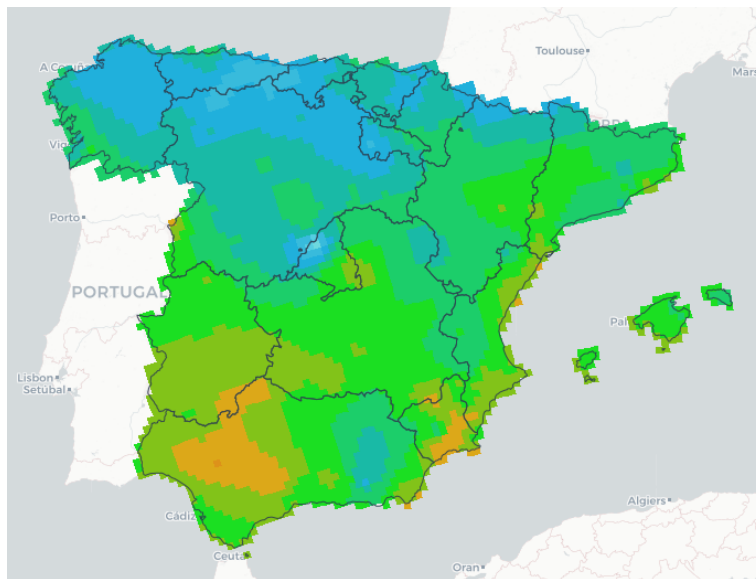
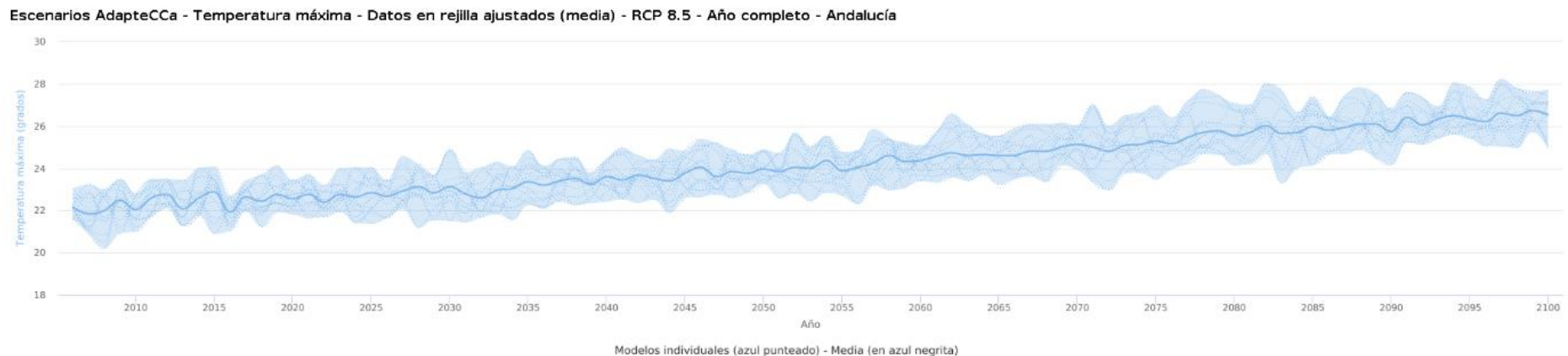


Figura 24. Visor de escenario de cambio climático a largo plazo, Fuente: AdapteCCa, 2021. <http://escenarios.adaptecca.es/>

Como se ha podido visualizar en la Tabla 10, en la que se observan los diferentes escenarios planteados a corto, medio y largo plazo. En esta se evidencia como las temperaturas esperadas en la ciudad de Sevilla, serán ascendentes a través de los años. A corto plazo se espera que la temperatura se mantenga en un margen de 25 ° C a 31.7 ° C ; A mediano plazo la temperatura empezará a oscilar entre 31.7 ° C a 38.3 ° C, mientras que en un escenario a largo plazo esta aumentará hasta un máximo de 45 ° C.

Algo que igualmente se evidencia mediante la Figura 25, donde se representa la temperatura media anual esperada para la región de Andalucía, en la cual la proyección a 2100 siempre está enmarcada al alza de la temperatura. Actualmente a 2021 se cuenta con un promedio anual de 21.81 ° C y un máximo en verano de 31.91 ° C, en el escenario de 2050 el promedio anual será de 23.95 ° C y en verano con 33.54 ° C, y en año 2100 este se espera tener un promedio anual de 26.55 ° C, mientras en verano logrará alcanzar un promedio de 36.15 ° C.



Fuente: <http://escenarios.adaptecca.es>


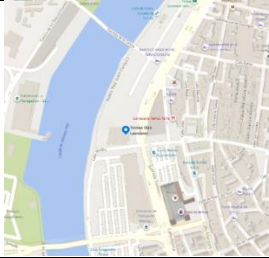

Figura 25. Escenarios AdapteCCA, Temperatura máxima. Fuente: AdapteCCA, 2021. <http://escenarios.adaptecca.es>

4.2 SISTEMAS DE CUBIERTAS VEGETALES EN SEVILLA

Dentro de la ciudad de Sevilla, se han encontrado cuatro edificios en los que desde el año 2011 se ha constatado el uso de sistemas vegetales en sus cubiertas. Es de resaltar que éstas han sido implementadas en edificaciones de uso comercial e institucional. En las tablas 11-14, se pueden observar su localización, así como información relevante para tener en cuenta.

LIPASAM – 2011


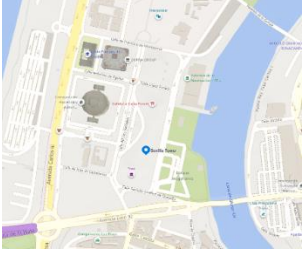


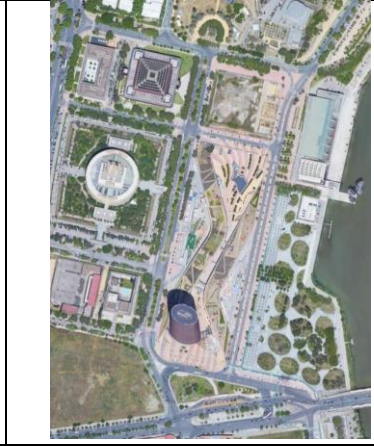
Tabla 11. LIPASAM. Ficha técnica. Fuente: Elaboración propia bajo el referente de [81]

LIPASAM	37.393144, -6.004502
	
Descripción	<p>Edificio restaurado en el año 2011, este parte del acondicionamiento de la antigua Estación del Telecabinas de la Expo del '92 (C/ Jándalo, esquina Paseo Juan Carlos I). Hoy en día tiene funcionamiento el parque auxiliar de limpieza "Torneo".</p> 
Sistema Vegetal	<p>En esta se desarrolló una cubierta vegetal de tipología extensiva a la cubierta que cuenta con 45° de inclinación. Se desarrolla una cubierta vegetal bajo el sistema extensivo. El jardín flotante implantado en el techo, éste arranca a ras de suelo en la fachada del edificio que da al río y que sube en su vertiente hacia Torneo.</p>



Torre de Sevilla – 2015 [82]

Tabla 12. Torre de Sevilla. Ficha técnica. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de [81]. Fotografía: José Ángel García

Torre de Sevilla		37.390895, -6.010222	
			
Descripción	Torre Sevilla es el primer rascacielos de la ciudad, cuenta en su base con un centro comercial, y en sus cubiertas se encuentran más de 12.000 m² de cubiertas vegetales, desarrollados bajo el sistema semi-intensivo .		
			
Sistema Vegetal	Cuenta con 12.000 metros cuadrados verdes que actúan como aislante térmico y contribuyen al ahorro energético del edificio. Asimismo, están dotados de un sistema de captación de agua de lluvia que permiten regar todas las cubiertas ajardinadas con el 100% de agua reciclada.		
			
Camino verdes. Estas cubiertas vegetales cuentan con caminos marcados	Nerium Oleander. A los pies de la Torre Sevilla se distribuyen plantas de todo	Palmito. <i>Chamaerops humilis</i> es su nombre científico, pero se le conoce	

favorecer el trabajo de los jardineros, que se afanan diariamente porque luzcan en perfecto estado. En esta imagen se puede apreciar la variada flora con que cuenta este lugar.

tipo. Una de ellas es la adelfa, que destaca por sus flores de tonos rosados. También es conocida como laurel de flor, rosa laurel, baladre o trinitaria.

popularmente como palmito o palmera enana. En las cubiertas vegetales del centro comercial hay una zona en la que son las protagonistas.



La propia actividad de las especies vegetales reduce el dióxido que se emite a la atmósfera disminuyendo la contaminación del aire. Las matas, palmeras, arbustos y árboles plantados cumplen esta función diariamente.

El jardín del techo del Centro Comercial Torre de Sevilla, aparte de ser un enclave singular, es un magnífico mirador al resto de la ciudad. Desde él, se puede observar la otra orilla de la dársena del Guadalquivir, así como el resto de la Isla de la Cartuja.



Escobillón rojo. La forma de su inflorescencia ha hecho que al callistemon se le conozca así. También se le conoce como calistemo o cepillo. Es originario de Australia, pero en este punto de la Cartuja se puede disfrutar de sus colores.

Falsas Palmeras. Así se conoce a la Cycas revoluta. Una planta procedente del sur de Japón que también está presente en este variopinto jardín. Son varias las hileras de falsas palmeras las que se disponen en esta cubierta vegetal.



Nueva plaza de armas de Sevilla – 2017 [83]

Tabla 13. Nueva plaza de armas. Ficha técnica. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de [84]. Fotografía: Terapia Urbana

<p>Nueva Plaza de Armas</p>	<p>37.392544, -6.002755</p>
	
<p>Descripción</p>	<p>Proyecto desarrollado en la remodelación que se le llevo a cabo a la Plaza de armas, en este se desarrollaron las cubiertas ajardinadas sobre 5 salidas de emergencia del aparcamiento subterráneo, Cubierta semi-intensivas bajo el sistema Zinco en 85 m2.</p> 
<p>Sistema Vegetal</p>	<p>Las cubiertas ajardinadas, se han resuelto mediante sistemas semi-intensivos de ZinCo Cubiertas Ecológicas, garantizando un espesor de sustrato suficiente para garantizar un funcionamiento adecuado en todas las épocas del año. Se ha empleado un sustrato ZinCoTerra Floral ideal para cubiertas ajardinadas de plantas heterogéneas.</p> <p>El diseño paisajístico, realizado con una clara idea integradora entre las fachadas y las cubiertas, presenta una combinación cromática. Se eligió una mezcla armonizada de gramíneas, tapizantes y algunas bulbosas, que revegetan las fachadas y cubiertas de todas las salidas, aportando un abanico de colores que revitalizan el nuevo espacio público donde se ubican.</p>



Centro Comercial La Lagoh – 2019

Tabla 14. Centro comercial La Lagoh. Ficha técnica. Fuente: Elaboración propia. Fotografía: propia

<p>C.C. La Lagoh</p>	<p>37.343096, -5.987815</p>
	
<p>Descripción</p>	<p>Centro comercial situado al sur de Sevilla, frente al Río Guadalquivir. Este se desarrolla una cubierta extensiva con Sedum, planta con gran adaptabilidad y resistencia a temperaturas extremas. Lagoh está certificado bajo norma BREEAM. Los materiales utilizados en la construcción y diseño de Lagoh son materiales naturales: pétreos, maderas, metálicos, todos ellos reciclados, y reciclables, provenientes 100% de tierras reutilizadas desde el proceso de construcción.</p> 
<p>Sistema Vegetal</p>	<p>La cubierta vegetal incorpora 10.000 m² de cubiertas verdes. Dispone de un sistema de recogida de agua pluvial, para su posterior uso en riego de zonas verdes.</p>
	



Durante el transcurso de la investigación, se realizó una visita guiada a las cubiertas instaladas en el centro comercial en 03/2021. Este día el equipo técnico mostró en sitio el funcionamiento de estas. Actualmente estas cuentan con un equipo de 10 personas de mantenimiento y 3 jardineros. Esta ha sido diseñada como una falsa cubierta, debajo de esta se encuentran localizadas maquinarias diversas del propio funcionamiento del centro comercial.

Originalmente contaron con la instalación de sedum, sin embargo, hoy en día han perdido alrededor del 40%, y han sido reemplazadas por malas yerbas. Esto debido a que en un inicio no se contó con el mantenimiento respectivo de las cubiertas verdes.



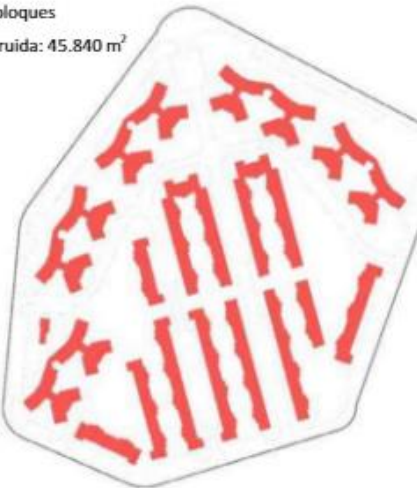




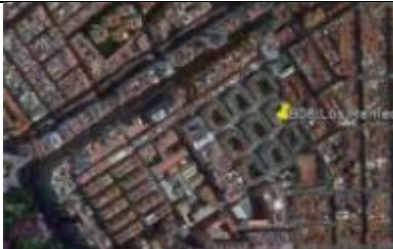
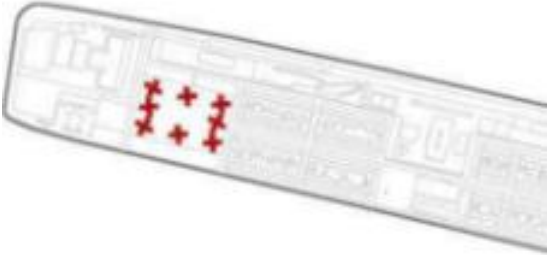

4.3 CASO DE ESTUDIO “REMEDIOS EL VIEJO”

El auge del desarrollo de vivienda social en Sevilla surgió después de la guerra civil española, en el periodo comprendido entre 1939 y 1979 [85]; Fue un periodo en el cual se desarrolló más de la mitad de las viviendas colectivas que se encuentran en la ciudad, éstas se caracterizan por las limitadas prestaciones constructivas y espaciales, de igual manera la ausencia de aislamiento térmico en la envolvente de las edificaciones[79]. (Tabla 15)

De esta manera hoy en día, este tipo de viviendas es considerada que tiene bajo eficiencia energética debido a los cambios ambientales y térmicos que la ciudad está pasando, explicado en apartados anteriores[80]. Es así como esta tipología de viviendas es un ejemplo claro para poder realizar las simulaciones que permitan demostrar que mediante el uso de sistemas vegetales en las envolventes de estas se mejore el déficit de confort ambiental y aumente su eficiencia energética.

Tabla 15. Vivienda social en Sevilla. Fichas técnicas. Fuente: Elaboración propia bajo las referentes [85] [86]

El Tardón (1950)	
<p>DATOS GENERALES</p> <p>Nº viviendas: 1955 viviendas</p> <p>Nº bloques: 135 bloques</p> <p>Superficie construida: 142.177 m²</p> 	<p>El Tardón es un barrio residencial desarrollado en los años 50, como consecuencia de una actuación unitaria de vivienda social de gran tamaño, lo que confiere a este barrio un carácter uniforme. Se emplaza en el distrito de Triana.</p> 
Virgen del Carmen (1950)	
<p>DATOS GENERALES</p> <p>Nº viviendas: 636 viviendas</p> <p>Nº bloques: 52 bloques</p> <p>Superficie construida: 45.840 m²</p> 	<p>La Barriada Virgen del Carmen se encuentra localizada en Triana, en los antiguos terrenos inundables tras el muro de defensa de la ciudad. Su conformación responde a una actuación única de vivienda social desarrollada en los años 50.</p> 

Los remedios (1940-1960)	
<p>DATOS GENERALES</p> <p>Nº viviendas: 835 viviendas</p> <p>Nº bloques: 84 bloques</p> <p>Superficie construida: 61.045 m²</p> 	<p>La barriada Los Remedios se trata de un desarrollo residencial extenso, con un desarrollo heterogéneo y dilatado en el tiempo. Tiene dos núcleos de vivienda social a su interior, el primero desarrollado en los años 40, conformado por manzanas cerradas de poca altura. Y un segundo desarrollado en los años 60 de mediana altura.</p> 
Tablada (1960)	
<p>DATOS GENERALES</p> <p>Nº viviendas: 153 viviendas</p> <p>Nº bloques: 8 bloques</p> <p>Superficie construida: 13.292 m²</p> 	<p>Esta barriada es construida alrededor de los años 60, como sector residencial asociada a la base y maestranza aérea. Cuenta en el sector oeste una actuación de vivienda social. Tiene densidad media de viviendas y una significativa presencia de espacios libres.</p> 

En la Tabla 15, se analizaron cuatro de los desarrollos representativos de vivienda social entre los años 1940-1960 en el distrito de Triana – Los Remedios. Éstos son un ejemplo viable para realizar las simulaciones con sistemas vegetales. En concreto se ha seleccionado la de Los remedios (1940), como ejemplo representativo que se pueda replicar en los diferentes polígonos de vivienda localizados en Sevilla.

Uno de los criterios de selección fue la relación que se encuentra de altura en fachada con las cubiertas, debido a que se tiene una gran cantidad de cubierta (960 m²) por una cantidad baja de vivienda (36 viviendas por bloque); Luego el impacto de las cubiertas vegetales por vivienda sería mayor. Además, las características constructivas hoy en día están obsoletas y la aplicación de sistemas vegetales en sus envolventes tanto en cubierta como en fachada podría mejorar significativamente la eficiencia energética de estos. Al igual que la

generación de microclimas que permitan reducir los efectos generados del fenómeno de la isla de calor.

A continuación, en la Tabla 16 se detalla esta barriada, además de sus características constructivas y espaciales.

Tabla 16. Ficha técnica "Remedios el viejo". Fuente: Elaboración propia bajo la referente [86]

Barriada: Remedios el viejo	37°22'37.8"N 6°00'01.7"W
	
	<p>La localización del caso de estudio a simular posteriormente con la herramienta ENVI-met se encuentra localizado en la ciudad de Sevilla, en el distrito de los Remedios. Éste se encuentra entre las calles Miño, Niebla, Arcos y Virgen de la Victoria, la superficie promedio de las viviendas es de 66.35 a 74.40 m² en construido, el número total de viviendas localizas en este caso de estudio es de 324 viviendas.</p> <p>El caso de estudio es el núcleo residencial Los Remedios "viejo", desarrollado por los Arquitectos Luis Sala y María. El promotor fue "Obra Nacional", su año construcción fue desde 1938 hasta 1943. La edad de las edificaciones es actualmente de 78-83 años.</p>

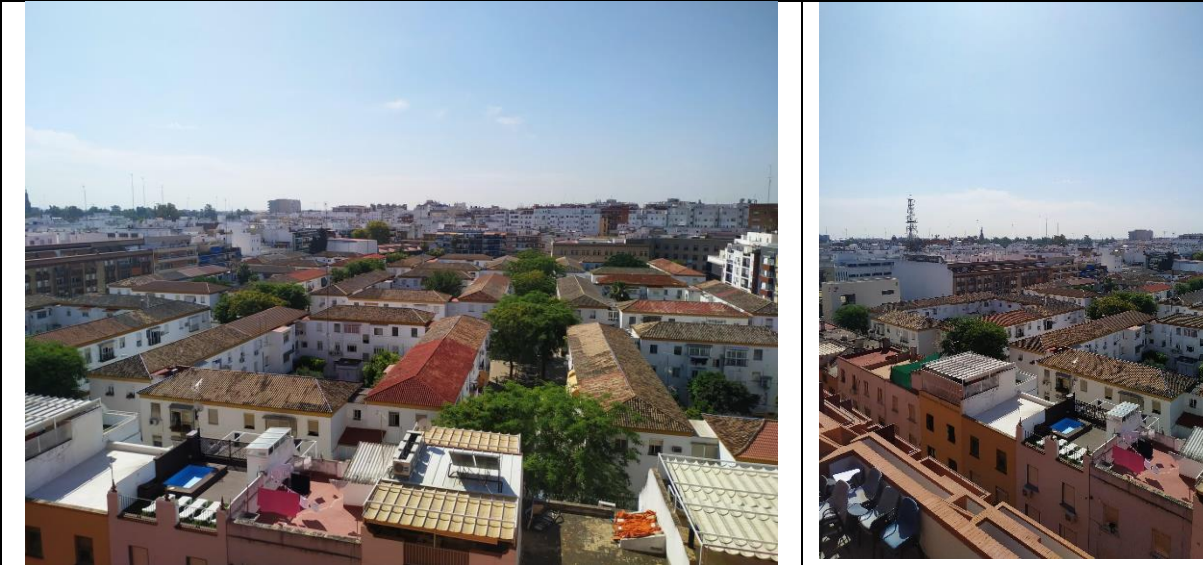


Foto area del barrio Los Remedios



Fotos a nivel urbano de "Remedios el viejo"



Foto interiores de los patios localizados en una de las manzanas

Para el estudio de este núcleo residencial, se utilizó documentación extraída del proyecto RePROGRAMA, (Re) Habitación, (Re) Generación, (Re) Programación, del proyecto I+D+i de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla.

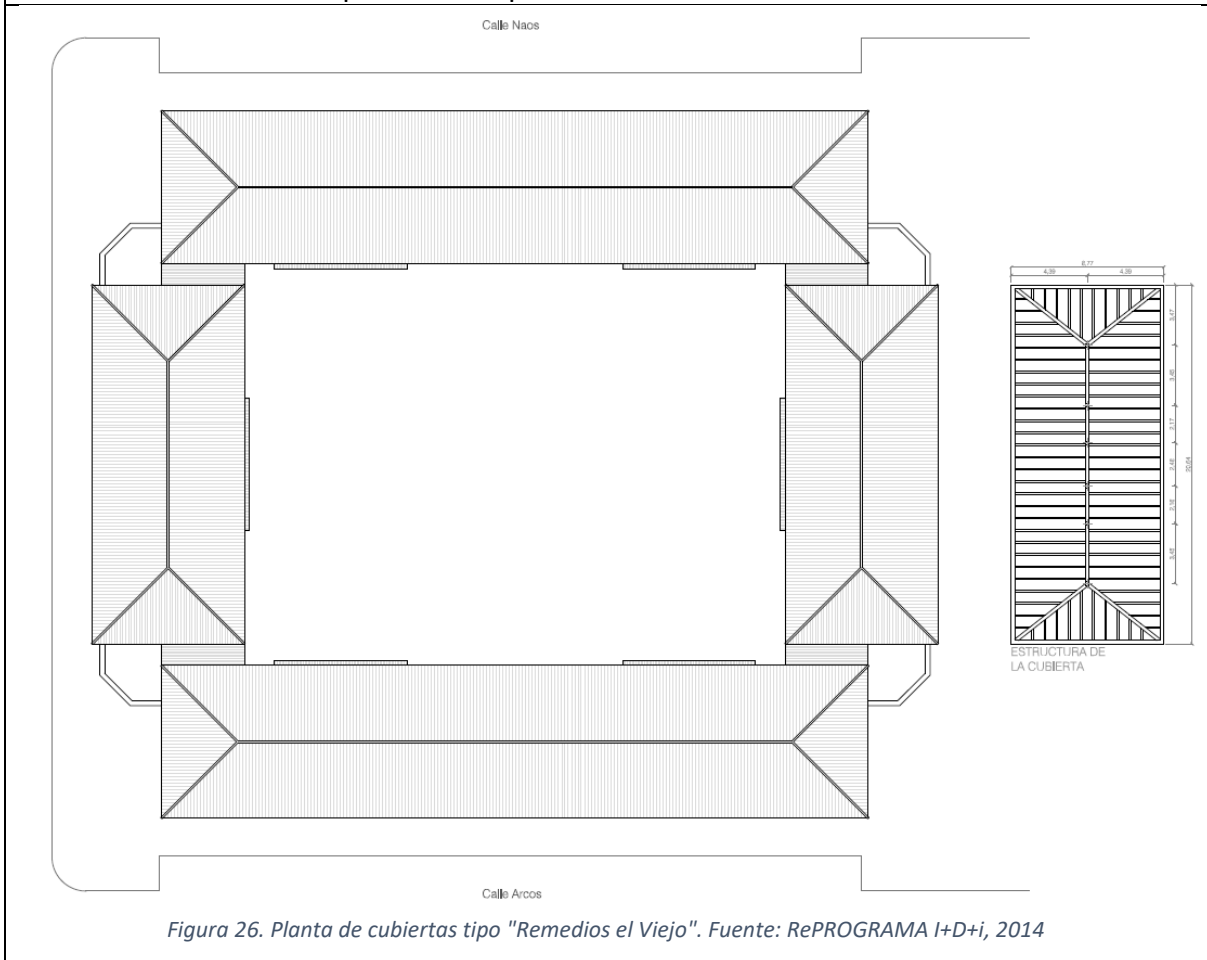


Figura 26. Planta de cubiertas tipo "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014

El sistema constructivo con que fue desarrollado esta barriada fue el tradicional basado en una estructura de ladrillo, cerramiento enfoscado y cubierta en teja. El estilo arquitectónico es clásico. La tipología arquitectónica es en manzana compacta. Tiene una construcción total de 28.944 m².



C/ARCOS

Figura 27. Fachada Oriente-Occidente tipo "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014

La altura de la construcción es de de 3 plantas, cada una de estas de 3 metros, para un total de 9 metros. En las fachadas oriente-occidente los bloques cuentan con 40 metros de largo, en los bloque norte-sur tienen 20 metros.

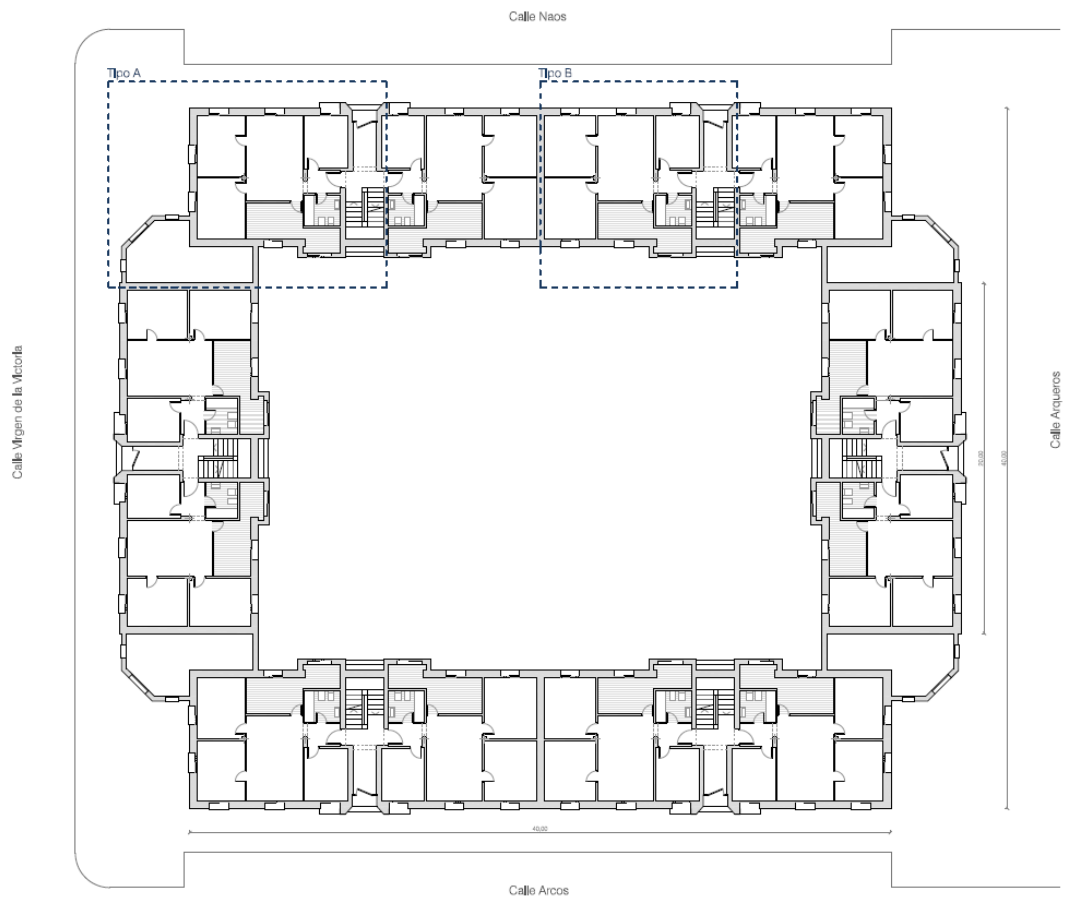


Figura 28. Planta tipo "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014

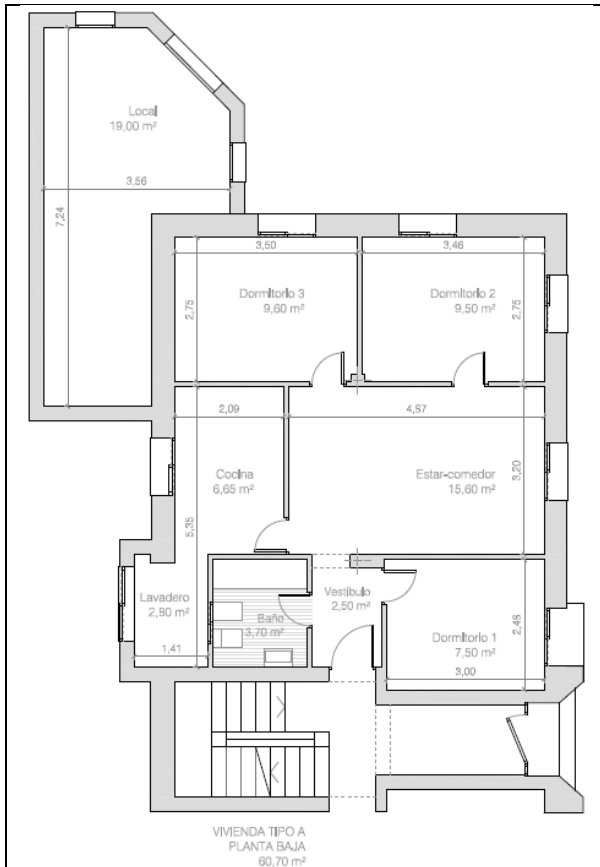


Figura 29. Planta tipo A "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014

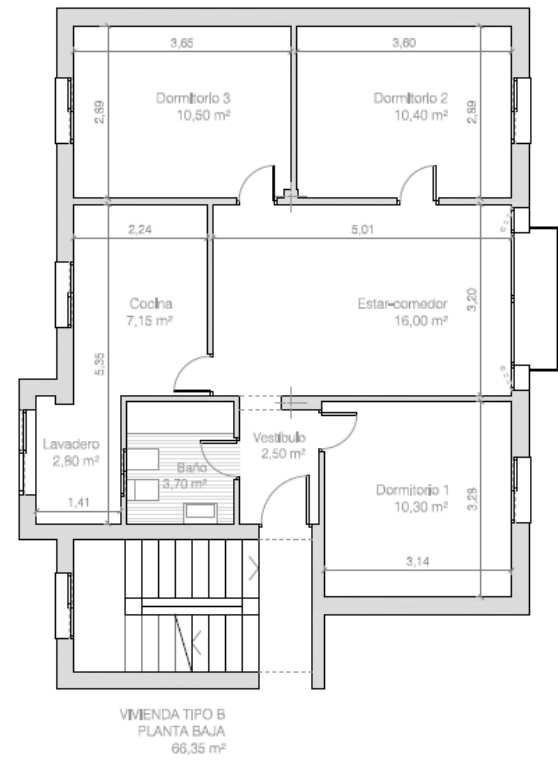


Figura 30. Planta tipo B "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014

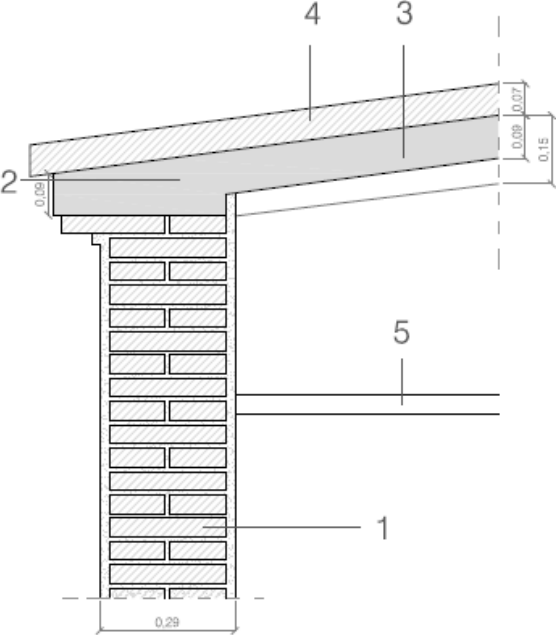
Se presentan dos tipologías de apartamentos, la única diferencia que radica uno del otro es que uno de estos tiene el uso de una terraza de aproximadamente 15 m², esto solo se presenta en los pisos de la primera planta que son esquineros. En la planta 0 se localizan en cada una de las esquinas del bloque locales destinados al comercio.



Figura 31. Fachada Norte-Sur tipo "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014.

Cada bloque cuenta con 36 unidades de vivienda, para un total de 324 unidades de vivienda en los 9 bloques que hacen parte de la barriada.

A continuación se presentan dos detalles constructivos de un bloque tipo, en la cual se representa la cubierta y la fachada.



Cubierta inclinada:

1. Muro de carga de un pie de ladrillo macizo 25x12.5x5 cm.
2. Zuncho de hormigón armado.
3. Losa nervada de hormigón.
4. Cubierta de teja cerámica árabe.
5. Falso techo de escayola.


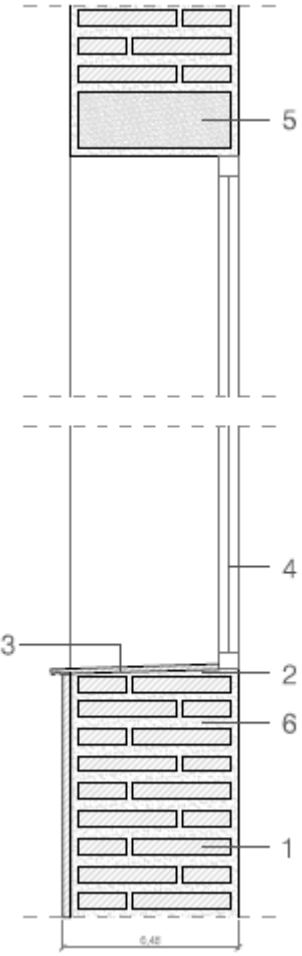


Figura 32. Detalle encuentro fachada con cubierta. Fuente: RePROGRAMA I+D+I, 2014.



1. Muro de carga de pie y medio de ladrillo macizo 25x12.5x5 cm.
2. Baldosa cerámica formando el alfeizar.
3. Carpintería metálica de una hoja.
4. Dintel de hormigón.
5. Juntas entre ladrillo, 3 cm.


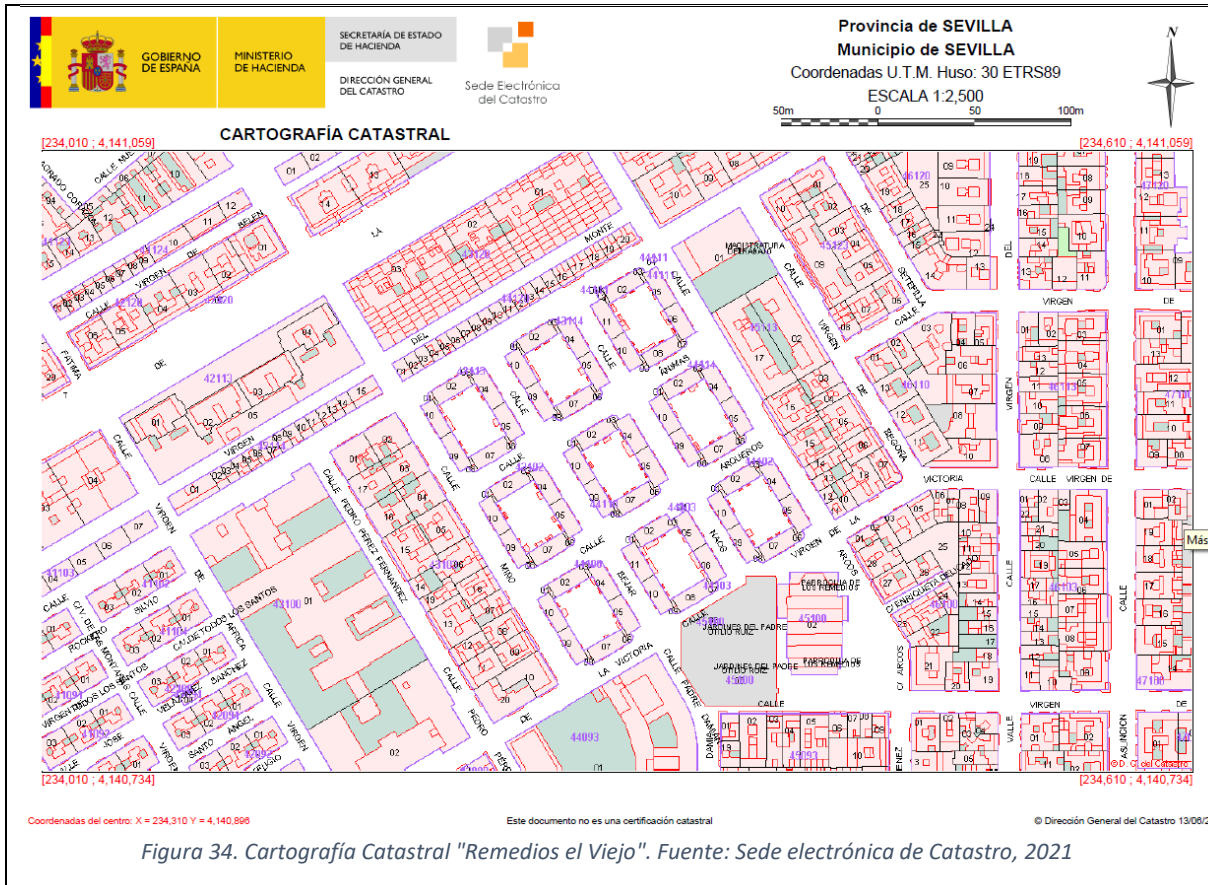


Figura 33. Detalle por hueco de fachada. Fuente: RePROGRAMA I+D+I, 2014.



Con respecto a la potencialidad de instalación de cubiertas vegetales, se identificó en un bloque residencial de tipo O, tiene la capacidad de instalación en cubierta de 960 m², de tal manera para los 9 bloques residenciales que serán objetivo de simulación, tendrá una capacidad de 8640 m² aproximadamente.

4.3.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CUBIERTA VEGETAL A SIMULAR

Después del estudio de la literatura científica sobre los diferentes sistemas vegetales, y analizados los estudios previos, se concluye que la simulación que se propone implementar en la barriada de “Los Remedios el viejo” son los sistemas vegetales en las cubiertas, como elemento pasivo que responda a las necesidades actuales para poder mitigar el fenómeno de isla de calor urbana.

Dentro de las consideraciones para la selección se encuentran:

- La relación fachada/cubierta, en esta al ser edificaciones de 3 pisos, la cubierta tiene más cantidad de área a cubrir.
- La barriada se toma como lugar representativo, que permitiría replicar el uso de estas cubiertas en la ciudad de Sevilla, en edificaciones construidas previas a 1979.
- La potencialidad de la reducción del efecto de isla de calor urbana, que debido al crecimiento urbano que se está llevando en la ciudad puede llegar a generar altas alzas en la temperatura.
- Además, por la distribución espacial que tiene la ciudad se encuentran grandes espacios donde la vegetación no está presente, luego la absorción de calor es demasiado alta, si bien hay grandes espacios verdes presentes éstos no se encuentran conectados.
- La utilización de sistemas vegetales, sirven como vía para generar zonas verdes de proximidad, escasas en el sector.

Basados en los sistemas analizados, se agrupan en los que se basan en sistema multicapa, y sistemas contenedores de cultivo. Se opta por el sistema multicapa, se escoge el sistema de cubiertas extensivas. Este presenta el menor grosor en su implementación dentro de un rango de 10 a 12 cm, un bajo peso, se puede implementar en cubiertas inclinadas, la vegetación que en este se pueden utilizar son de bajo porte como lo son los sedum, cespitosas, gramíneas, etc.

Como se puede observar en la Tabla 17, se detallan las especificaciones técnicas del Sistema RIZOMA, éste es parte de las soluciones presentadas por Singular Green.

Tabla 17. Detalles constructivos cubierta vegetal. Sistema Rizoma. Fuente: Elaboración propia bajo la referente [25]


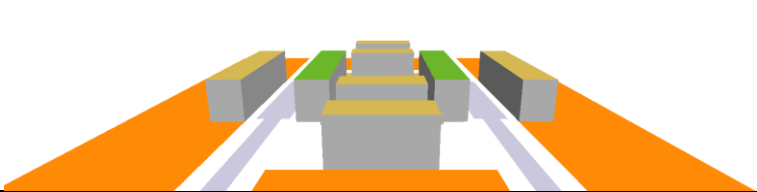
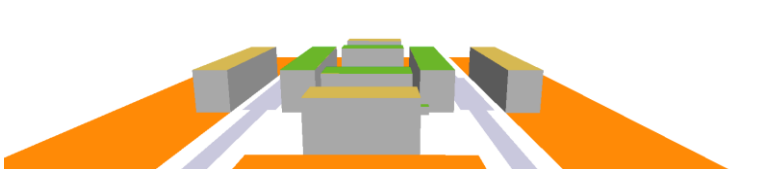
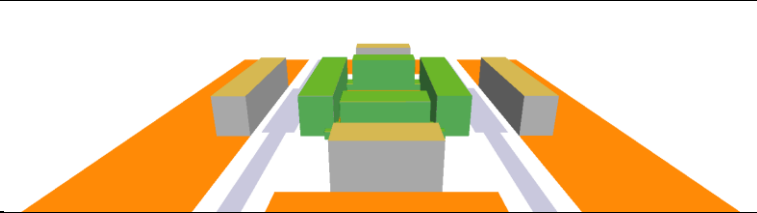
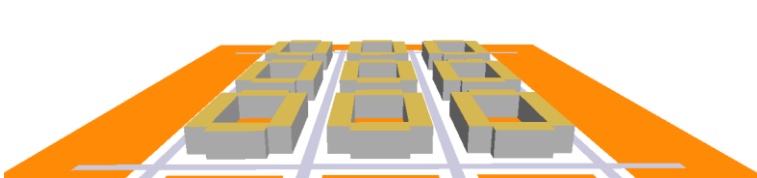
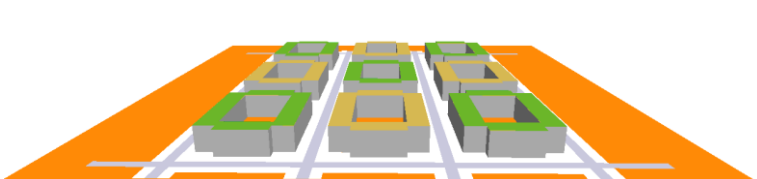
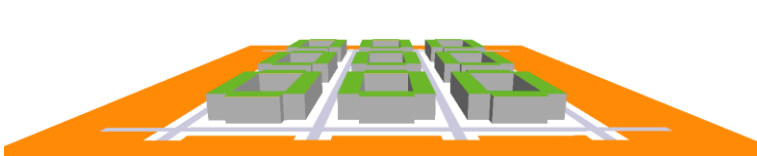
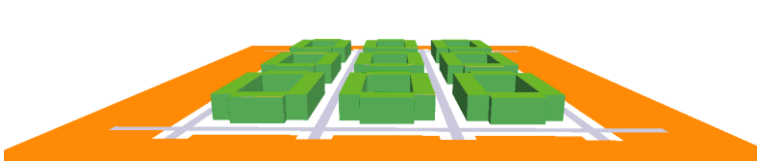
Detalle Sistema RIZOMA	
<p>Espesor necesario 13cm</p>	
<p>Espesor conjunto de capas 7 cm</p>	
<p>Espesor del sustrato sintético 4 cm</p>	
<p>Capas</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impermeabilización. Membrana líquida de poliuretano. Este producto se seca por la humedad ambiental, formando una membrana continua y elástica la cual es resistente a la intemperie a temperaturas extremas y a los rayos ultravioletas. 2. Capa separadora. Está elaborada por un geotextil no tejido con fibras cortadas de polipropileno de alta tenacidad 100%, unido mecánicamente por un proceso de agujereado y termo fijado de espesor 0.6mm. GTX-100-SG, geotextil de gramaje 100 gr/m². 3. Sustrato. Plancha de lana de roca de densidad 100kg/m² de dimensiones 1000x600x40mm. 4. Riego. Sistema enterrado formado por tuberías de 16 mm, con goteros integrados de 33 a 55 cm. El material del que están compuestas dichas tuberías es de polietileno de baja densidad. 5. Vegetación. Especies de césped (Rizoma o Sedum) con sistema de plantación a través de tepes.

5. SIMULACIONES

5. SIMULACIONES DE MICROCLIMAS URBANOS

Para el proceso de las simulaciones se han realizado ocho en total, cuatro de estas se realizan sobre un bloque (Escenario 1), y las restantes se realiza sobre toda la barriada compuesta por nueve bloques (Escenario 2), como se puede observar en la Tabla 18.

Tabla 18. Simulaciones Envi-MET. Fuente: Elaboración propia.

MODELO 3D	PERSPECTIVA	SISTEMA VEGETAL	
		CUBIERTA	FACHADA
LRM 001		0 m ²	0 m ²
LRM 002		640 m ²	0 m ²
LRM 003		960 m ²	0 m ²
LRM 004		960 m ²	3040 m ²
LRM 005		0 m ²	0 m ²
LRM 006		4800 m ²	0 m ²
LRM 007		8640 m ²	0 m ²
LRM 008		8640 m ²	27360 m ²

5.1 CONFIGURACIÓN DE LAS SIMULACIONES

Los materiales han sido seleccionados principalmente bajo las opciones proporcionadas por el mismo programa, basados en el sistema constructivo propio de la barriada “Remedios el viejo” (tabla 16). Estos permitirán evaluar su influencia en la generación de microclimas urbanos. Las características propias de estos materiales se especifican en la tabla 19.

Tabla 19. Materiales empleados en la simulación y las características térmicas a emplear. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de ENVI-met 4.4.6, 2021.

	Materiales	Albedo¹³	Emisividad¹⁴	Conductividad térmica¹⁵
Muro	Concreto	0.50	0.90	1.6
	Insolación	0.50	0.90	0.07
Cubierta	Tejado	0.50	0.90	0.84
Pavimento	Tierra vegetal	0.10	0.80	
	Concreto	0.30	0.90	
	Concreto pigmento gris	0.5	0.90	

En el presente estudio realizado se han utilizado materiales para muro predeterminado con un grosor de 30cm; en el techo: teja, y cubierta vegetal verde con sustrato mixto, de la misma manera a los suelos, en este caso concreto gris para los andenes, pavimento (Concreto pigmento gris) usado/sucio para las vías, y suelo arcilloso por defecto para las demás áreas en terreno. En la tabla 20, se logra observar las características propias de los sistemas vegetales seleccionados en muro y cubierta.

Tabla 20. Sistemas vegetales empleados en la simulación y las características térmicas a emplear. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de ENVI-met 4.46, 2021.

	Sistema vegetal	Albedo	Transmitancia¹⁶
Fachada	Fachada vegetal viva	0.20	0.3
Cubierta	Cubierta vegetal extensiva	0.2	0.3

Como ya se comentada en un inicio el proceso de monitorización queda como sugerencia para una posible línea de investigación futura, para el presente trabajo se toma como base mediciones realizadas anteriormente. Estas fueron realizadas en el periodo de verano del año pasado (2020) en la ciudad de Sevilla, éstas son tomadas como punto de partida de comparación en temperatura y humedad relativa reales, que permitirá después de realizadas las simulaciones tener un punto base de comparación.

¹³ Albedo o reflectancia solar, es el porcentaje de la energía solar reflejada en una superficie. Esta propiedad es determinante de las máximas temperaturas en un material. [94]

¹⁴ La emisividad, es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura. Cuanto más pequeño sea el valor de la emisividad, mejor aislante por reflexión será dicha superficie, siendo 1 el valor máximo. [95]

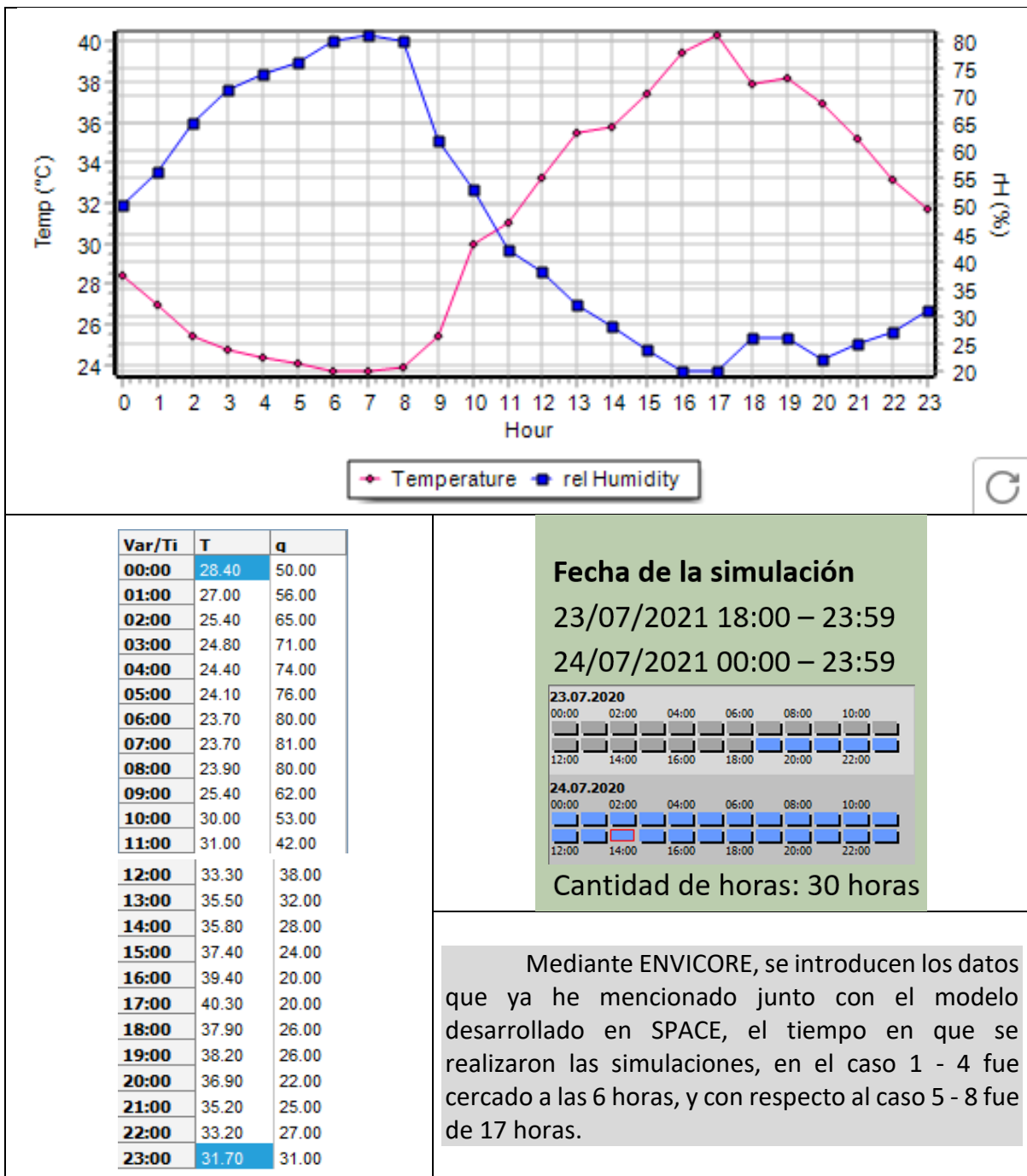
¹⁵ Conductividad térmica, capacidad de un material de conducción de calor.[96]

¹⁶ Transmitancia, es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en la unidad de tiempo (potencia). [97]

5.2 SIMULACIÓN ENVI-GUIDE

Otro proceso importante en la simulación es la utilización de la herramienta ENVIGUIDE, en la cual, introducidos los datos proporcionados en monitorizaciones anteriores, parámetros del suelo y vientos. En este mismo se escoge la fecha y el periodo de simulación, se ha determinado al 24 de Julio, durante 30 horas, pero solamente 24 horas nos servirán como materia de estudio (Tabla 21). Debido a que las 6 primeras horas se descartan normalmente según la literatura [76] relacionada con simulaciones con ENVI-met.

Tabla 21. Configuración de ENVIGUIDE.

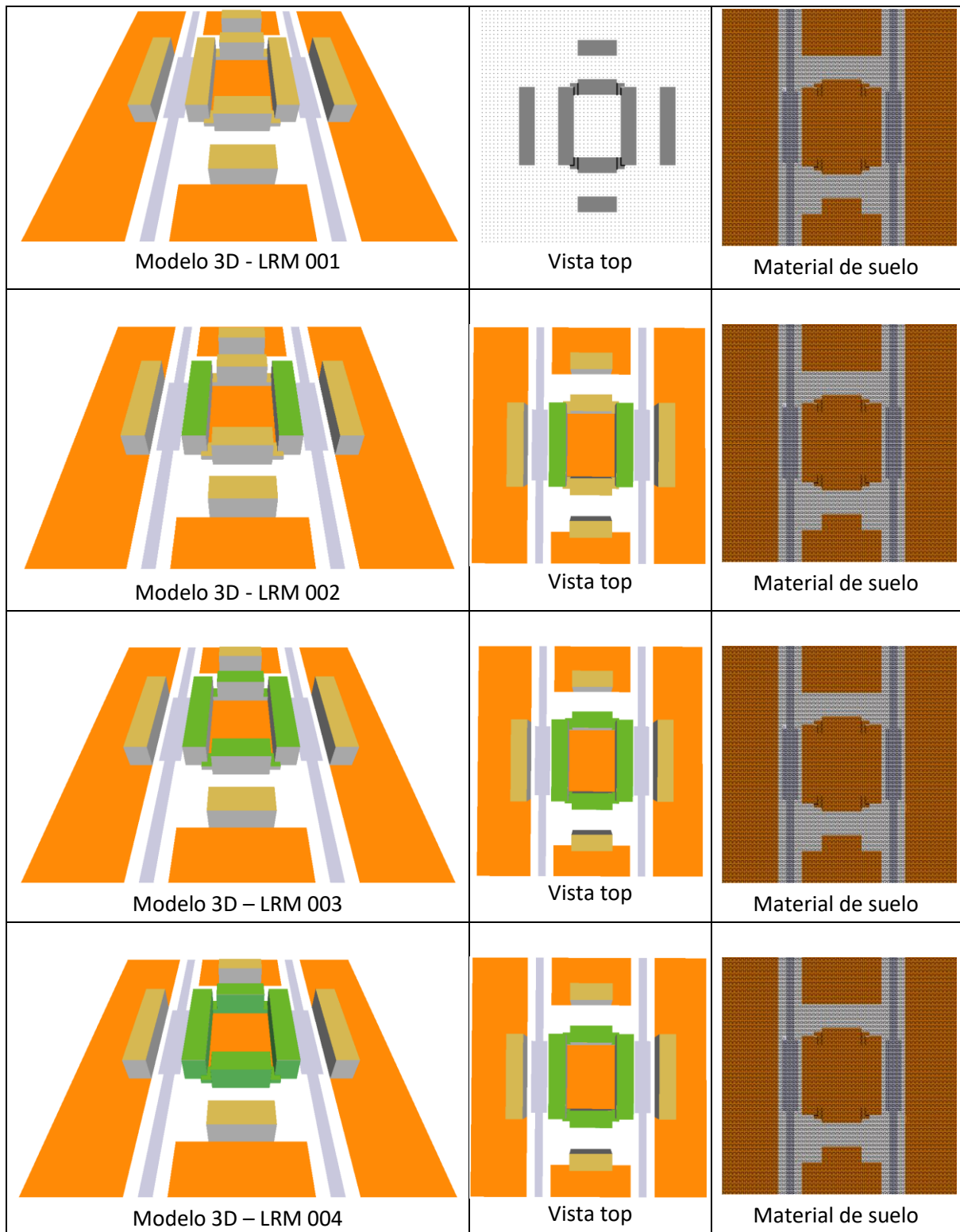


5.2.1 SIMULACION DE MICROCLIMA URBANO GENERADO POR EL USO CUBIERTAS VEGETALES

Para el desarrollo de las simulaciones, se tienen en cuenta 2 escenarios diferentes planteados, en el primero solo se tendrán en cuenta la modelización de un bloque (escenario 1), se realizan cuatro simulaciones, explicadas a continuación (Tabla 22). Para el segundo escenario se basa de la simulación de los nueve bloques que componen la barriada, igualmente se realizan cuatro simulaciones representadas en la tabla 23.

Tabla 22. Información de entrada y modelado geométrico, Modelo 001- 004 (Escenario 1). Fuente: Elaboración propia.

MODELO 3D	LRM 001 - 004	Condiciones meteorológicas iniciales	
Tamaño del área (x,y,z)	59x60x30	Temperatura inicial en la atmosfera (t)	28.40
Tamaño de la celda (m) Telescoping	2.00x2.00x2.00 2.0	Medición de la velocidad del viento a 10 m de altura (m/s)	1.50
Posición		Dirección del viento	225
Localización	Sevilla / España	Longitud de rugosidad en el sitio de medición	0.01
Longitud -W, +E	-5.95°	Humedad relativa inicial (q)	50
Latitud +N, -S	37.38°	Condiciones iniciales del suelo	
Inicio y duración del modelo		Capa superior: 50%, 19.85°C	
Fecha de simulación	23.07.2020 – 24.07-2020	Capa intermedia: 60%, 15.85°C	
Hora de inicio	18:00:00	Capa profunda: 50%, 11.85°C	
<i>Total, horas simuladas(h)</i>	<i>30</i>	<i>Total, de tiempo de simulación (h)</i>	<i>6h</i>



LRM 001: Se realiza la modelización del bloque seleccionado, con su entorno inmediato, de la misma manera con las vías de acceso, andenes con los materiales respectivos. Esta modelación refleja la manera como se encuentra actualmente el bloque.

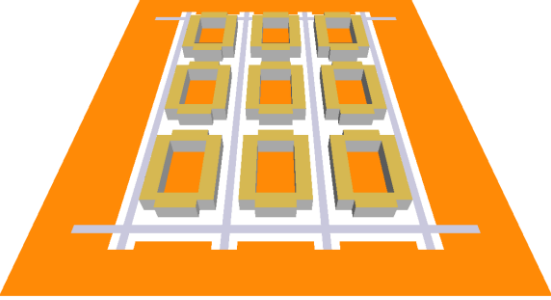
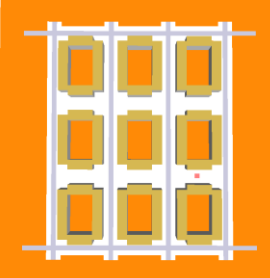
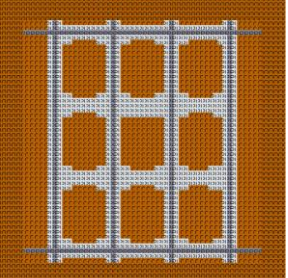
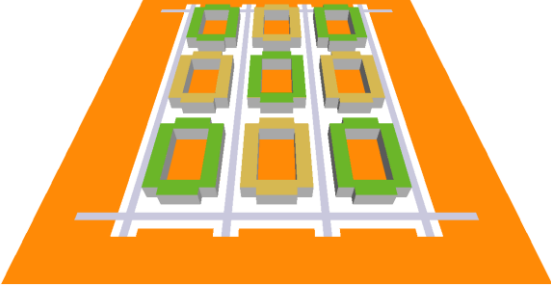
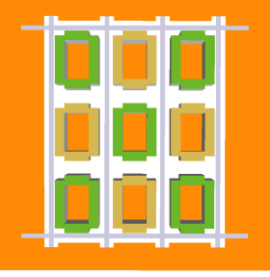
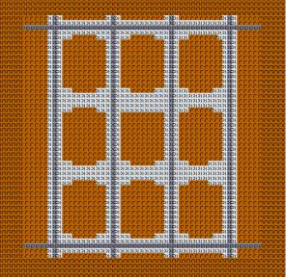
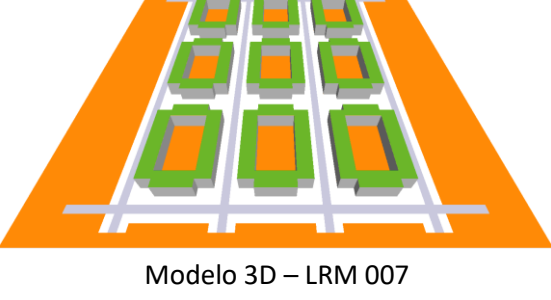
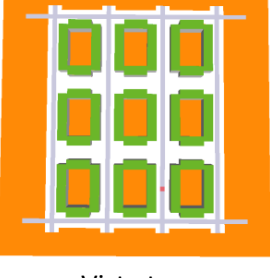
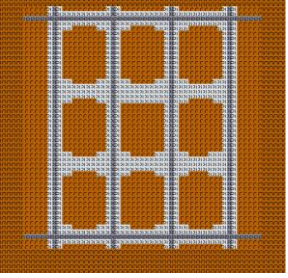
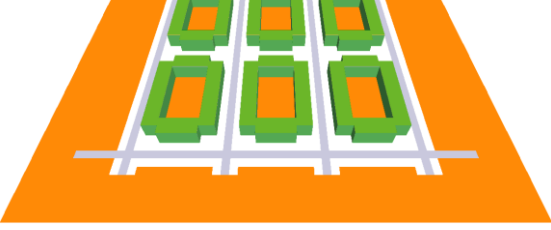
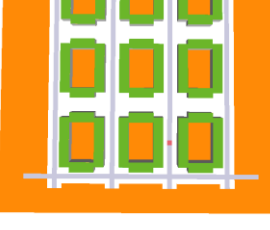
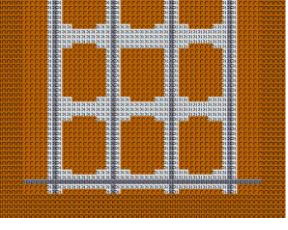
LRM 002: Se realiza la simulación en dos de las escaleras con cubiertas de uso extensivo.

LRM 003: Se realiza la simulación del bloque completo con cubiertas de uso extensivo.

LRM 004: Se realiza la modelización del bloque completo, con su entorno inmediato, de la misma manera con las vías de acceso, andenes con los materiales respectivos. En el Modelo 004, se realiza la simulación del bloque con cubiertas de uso extensivo, además de esto se realiza en las fachadas la simulación de muro vegetal.

Tabla 23. Información de entrada y modelado geométrico, Modelo 005 – 008 (Escenario 2). Fuente: Elaboración propia.

MODELO 3D	LRM 005	Condiciones meteorológicas iniciales	
Tamaño del área (x,y,z)	59x60x30	Temperatura inicial en la atmosfera (t)	28.40
Tamaño de la celda (m)	4.00x4.00x4.00	Medición de la velocidad del viento a 10 m de altura (m/s)	1.50
Telescoping	1.0	Dirección del viento	225
Posición			
Localización	Sevilla / España	Longitud de rugosidad en el sitio de medición	0.01
Longitud -W, +E	-5.95°	Humedad relativa inicial (q)	50
Latitud +N, -S	37.38°	Condiciones iniciales del suelo	
Inicio y duración del modelo		Capa superior: 50%, 19.85°C	
Fecha de simulación	23.07.2020 – 24.07-2020	Capa intermedia: 60%, 15.85°C	
Hora de inicio	18:00:00	Capa profunda: 50%, 11.85°C	
<i>Total, horas simuladas(h)</i>	<i>30</i>	<i>Total, de tiempo de simulación (h)</i>	<i>10h56m</i>

 <p>Modelo 3D – LRM 005</p>	 <p>Vista top</p>	 <p>Material de suelo</p>
 <p>Modelo 3D – LRM 006</p>	 <p>Vista top</p>	 <p>Material de suelo</p>
 <p>Modelo 3D – LRM 007</p>	 <p>Vista top</p>	 <p>Material de suelo</p>
 <p>Modelo 3D</p>	 <p>Vista top</p>	 <p>Material de suelo</p>

LRM 005: Se realiza la modelización de los 9 bloques que pertenecen a la barrida “Remedios viejo”, con su entorno inmediato, de la misma manera con las vías de acceso, andenes con su materialidad respectiva, este modelo, se realiza la simulación de cómo se encuentra hoy en día la barrida. LRM 006: Se realiza la simulación en cinco de los bloques, se realiza la simulación con cubiertas vegetales. LRM 007: Se realiza la simulación en los nueve bloques, se realiza la simulación con cubiertas vegetales. LRM 008: Se realiza la simulación los nueve bloques, se realiza la simulación con cubiertas vegetales y muros vivos.

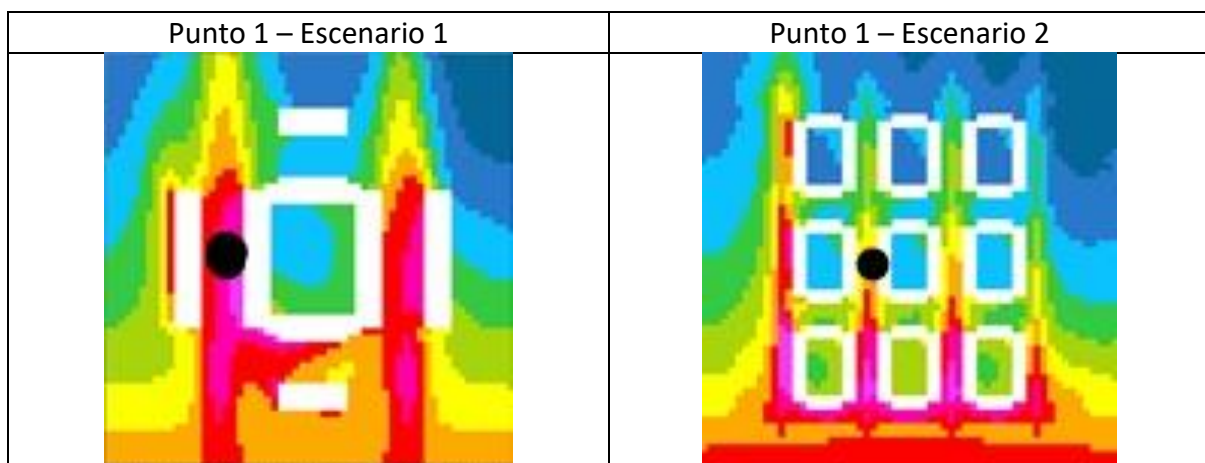
5.3 COMPARATIVA Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el proceso de comparativa se evalúan dos escenarios, el primero se basa en los modelos LRM 001, 002, 003 y 004, en estos se realizó la modelización de un solo bloque (Tamaño de la celda x:2, y:2 y z:2). El segundo escenario se basa en los modelos LRM 005, 006, 007 y 008 basados en la modelización de los 9 bloques con que cuenta “Los remedios: el viejo” (Tamaño de la celda x:4, y:4 y z:4); ambos escenarios han tenido como base de grids 59 x 60 x 30. Las tomas se han realizado en los siguientes horarios para los 8 modelos: 02:00, 08:00, 14:00, y 20:00.

Para efectos de mejor precisión de los resultados estas se han realizado a dos alturas diferentes, la primera a altura de peatón 1,8m, la segunda a nivel de altura de la cubierta 11m. (Tabla 30). De esta manera se tienen 16 resultados a analizar por modelización, 64 resultados por escenario, 128 en total en ambos escenarios.

Una vez realizadas las simulaciones planteadas en los diferentes escenarios, se visualizan los resultados mediante LEONARDO, éste nos permite realizar la discusión de los resultados encontrados (tablas 25-40); se analizan dos factores importantes referentes a la generación de microclimas urbanos como lo son la temperatura del aire (T), y la humedad relativa (q); éstos serán utilizados posteriormente para evidenciar la efectividad de los sistemas vegetales con respecto a la potencialidad de generar microclimas urbanos. (Ver ANEXOS, Tabla 41 – 48).

Tabla 24. Localización punto 1 en escenario 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.



ESTRATEGIAS DE AMORTIGUACIÓN TÉRMICA BASADAS EN SISTEMAS VEGETALES

Resultados obtenidos en temperatura del aire (T).

Tabla 25. Promedio de la temperatura potencial en el aire (T) LRM 1 – LRM 4, k:4.

Hora	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1
	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4
2:00	25.69	27.86	26.775	25.69	27.84	26.765	25.69	27.84	26.765	25.7	27.81	26.755
8:00	24.32	26.08	25.2	24.32	26.06	25.19	24.32	26.06	25.19	24.32	26.05	25.185
14:00	35.01	37.47	36.24	35.02	37.47	36.245	35.02	37.47	36.245	34.93	37.46	36.195
20:00	35.65	36.63	36.14	35.65	36.63	36.14	35.63	35.65	35.64	35.54	36.49	36.015
	LRM 1			LRM 2			LRM 3			LRM 4		

Tabla 26. Promedio de la temperatura potencial en el aire (T) LRM 5 – LRM 8, k:4.

Hora	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1
	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4
2:00	25.79	28.31	27.05	25.79	28.28	27.035	25.79	28.26	27.025	25.8	28.21	27.005
8:00	24.55	26.33	25.44	24.55	26.29	25.42	24.55	26.28	25.415	24.56	26.29	25.425
14:00	34.57	37.59	36.08	34.56	37.59	36.075	34.55	37.59	36.07	34.46	37.57	36.015
20:00	35.36	36.32	35.84	35.36	36.31	35.835	35.36	36.3	35.83	35.16	36.13	35.645
	LRM 5			LRM 6			LRM 7			LRM 8		

Tabla 27. Promedio de la temperatura potencial en el aire (T) LRM 1 – LRM 4, k:9.

Hora	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1
	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9
2:00	27.3	28.89	28.095	27.3	28.89	28.095	27.29	28.89	28.09	27.26	28.89	28.075
8:00	25.54	26.83	26.185	25.54	26.83	26.185	25.53	26.83	26.18	25.52	26.84	26.18
14:00	34.51	35.18	34.845	34.51	35.18	34.845	34.51	35.17	34.84	34.48	35.13	34.805
20:00	35.63	36.09	35.86	35.62	36.08	35.85	35.63	36.07	35.85	35.54	36.03	35.785
	LRM 1			LRM 2			LRM 3			LRM 4		

SIMULACIONES DE MICROCLIMAS URBANOS

Tabla 28. Promedio de la temperatura potencial en el aire (T) LRM 5 – LRM 8, k:9.

Hora	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1	tmin	tmax	Tpunto1
	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9
2:00	27.18	28.89	28.035	27.18	28.89	28.035	27.18	28.89	28.035	27.17	28.89	28.03
8:00	25.48	26.82	26.15	25.48	26.82	26.15	25.48	26.82	26.15	25.48	26.83	26.155
14:00	34.3	35.41	34.855	34.29	35.41	34.85	34.28	35.41	34.845	34.2	35.39	34.795
20:00	35.43	35.95	35.69	35.43	35.95	35.69	35.39	35.93	35.66	35.21	35.79	35.5
	LRM 5			LRM 6			LRM 7			LRM 8		

Resultados obtenidos en la humedad relativa (q).

Tabla 29. Humedad relativa (q) LRM 1 – LRM 4, k:4.

Hora	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1
	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4
2:00	53.44	64.06	58.75	53.51	64.06	58.785	53.57	64.06	58.815	53.73	64.06	58.895
8:00	66.5	77.78	72.14	66.7	77.78	72.24	66.87	77.78	72.325	67.34	77.78	72.56
14:00	28.81	36.24	32.525	28.81	36.16	32.485	28.81	36.21	32.51	28.84	37.57	33.205
20:00	25.18	28.8	26.99	25.18	28.93	27.055	25.18	29.01	27.095	25.2	29.76	27.48
	LRM 1			LRM 2			LRM 3			LRM 4		

Tabla 30. Humedad relativa (q) LRM 5 – LRM 8, k:4.

Hora	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1
	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4	k4
2:00	51.37	63.53	57.45	51.48	63.53	57.505	51.68	63.53	57.605	51.99	63.53	57.76
8:00	64.67	76.92	70.795	65.23	76.92	71.075	65.59	76.92	71.255	66.74	76.93	71.835
14:00	28.59	35.8	32.195	28.59	35.85	32.22	28.59	35.95	32.27	28.64	37.8	33.22
20:00	26.07	29.84	27.955	26.07	29.96	28.015	26.07	30.21	28.14	26.12	31.52	28.82
	LRM 5			LRM 6			LRM 7			LRM 8		

Tabla 31. Humedad relativa (q) LRM 1 – LRM 4, k:9.

Hora	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1
	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9
2:00	49.56	56.18	52.87	49.56	56.2	52.88	49.56	56.23	52.895	49.56	56.38	52.97
8:00	62.54	69.73	66.135	62.54	69.78	66.16	62.54	69.88	66.21	62.54	70.22	66.38
14:00	32.61	35.01	33.81	32.64	35.05	33.845	32.66	35.13	33.895	32.71	36.09	34.4
20:00	27	28.99	27.995	27.01	29.13	28.07	27	29.2	28.1	27.02	29.71	28.365
	LRM 1			LRM 2			LRM 3			LRM 4		

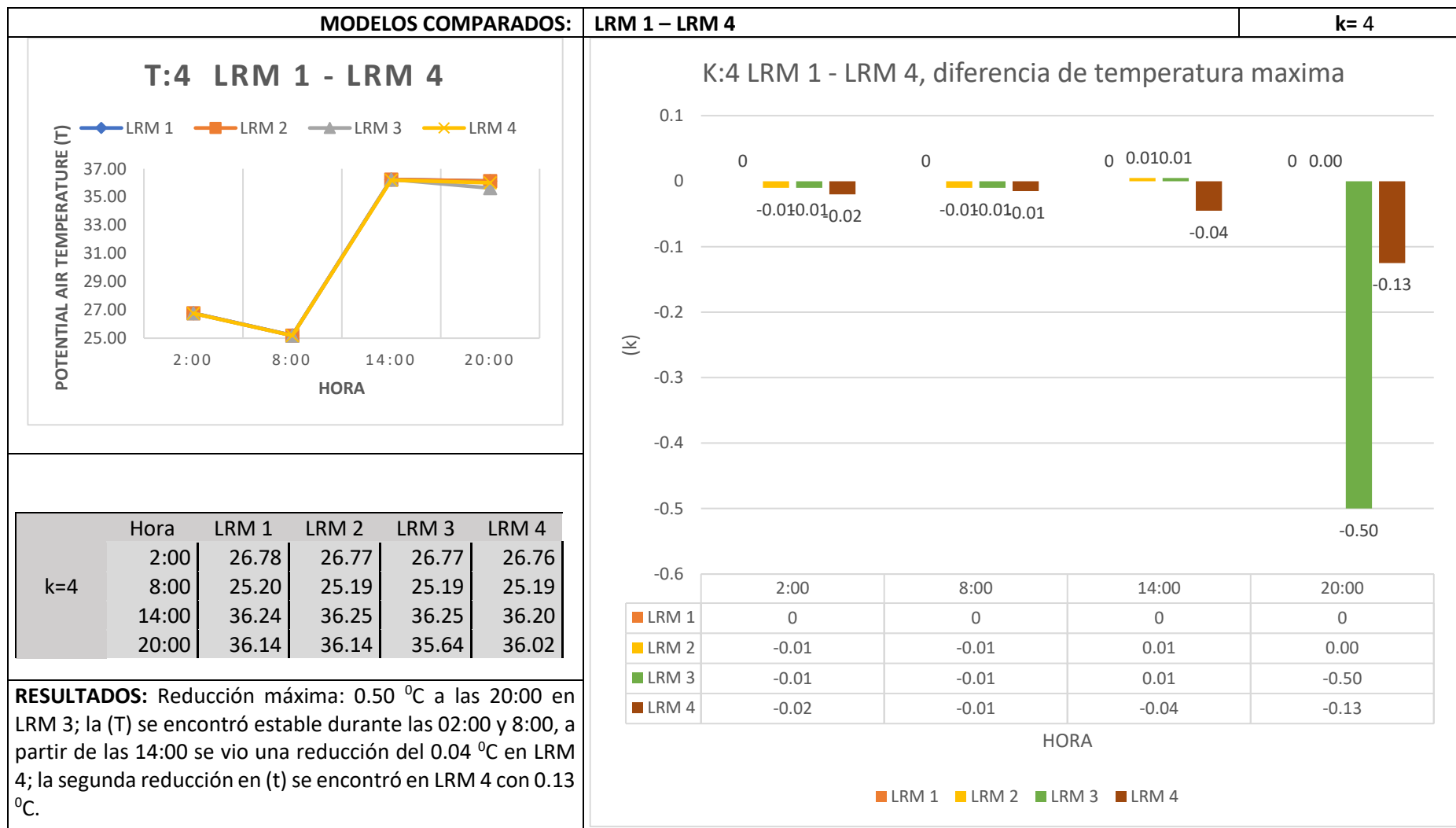
Tabla 32. Humedad relativa (q) LRM 5 – LRM 8, k:9.

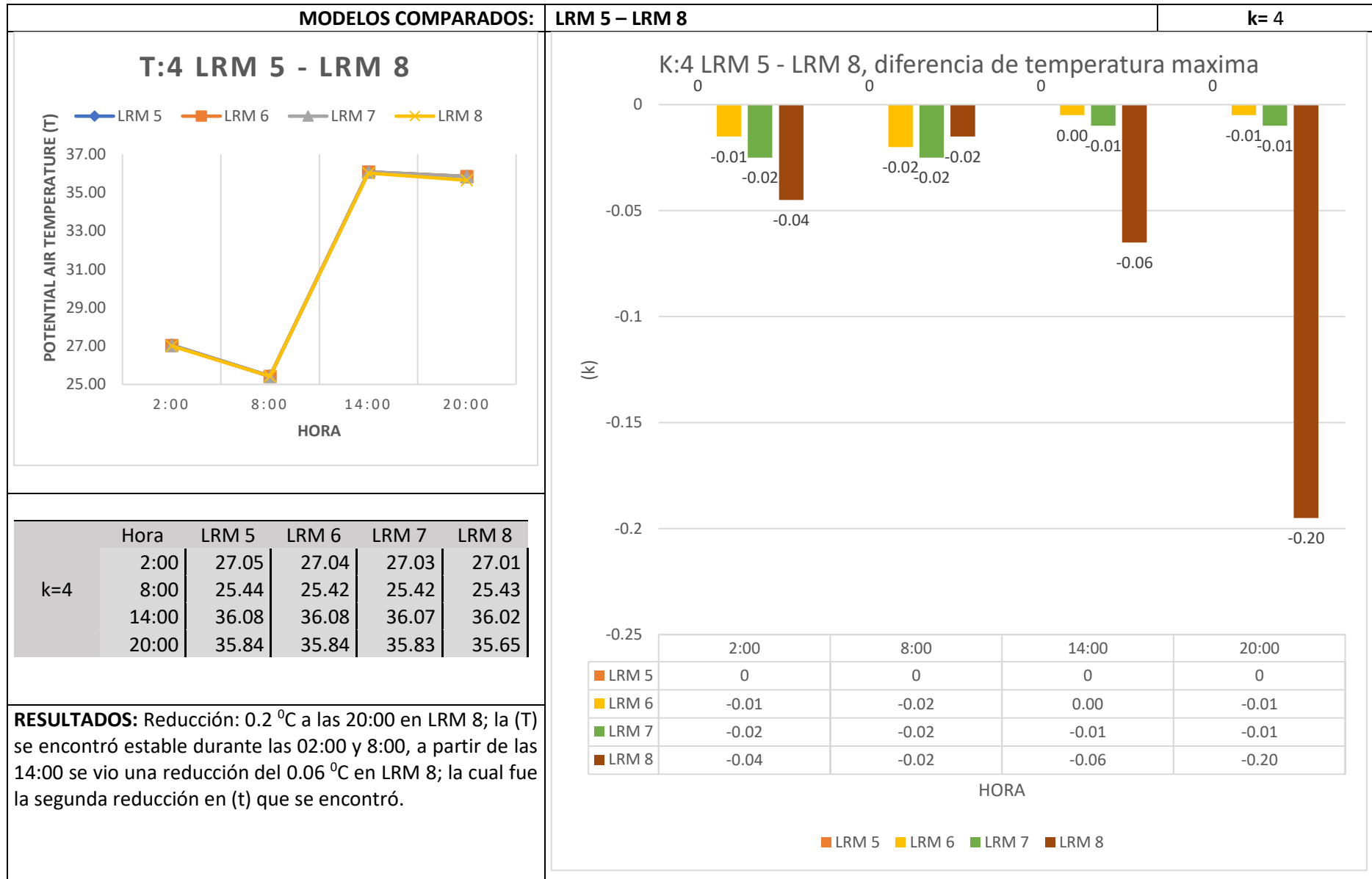
Hora	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1	qmin	qmax	qpunto1
	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9	k9
2:00	49.54	56.74	53.14	49.54	56.74	53.14	49.54	56.75	53.145	49.55	56.85	53.2
8:00	62.56	70.37	66.465	62.56	70.37	66.465	62.56	70.39	66.475	62.58	70.53	66.555
14:00	32.19	35.51	33.85	32.2	35.62	33.91	32.23	35.76	33.995	32.4	37.04	34.72
20:00	27.44	29.84	28.64	27.44	30.12	28.78	27.51	30.43	28.97	27.83	31.17	29.5
	LRM 5			LRM 6			LRM 7			LRM 8		

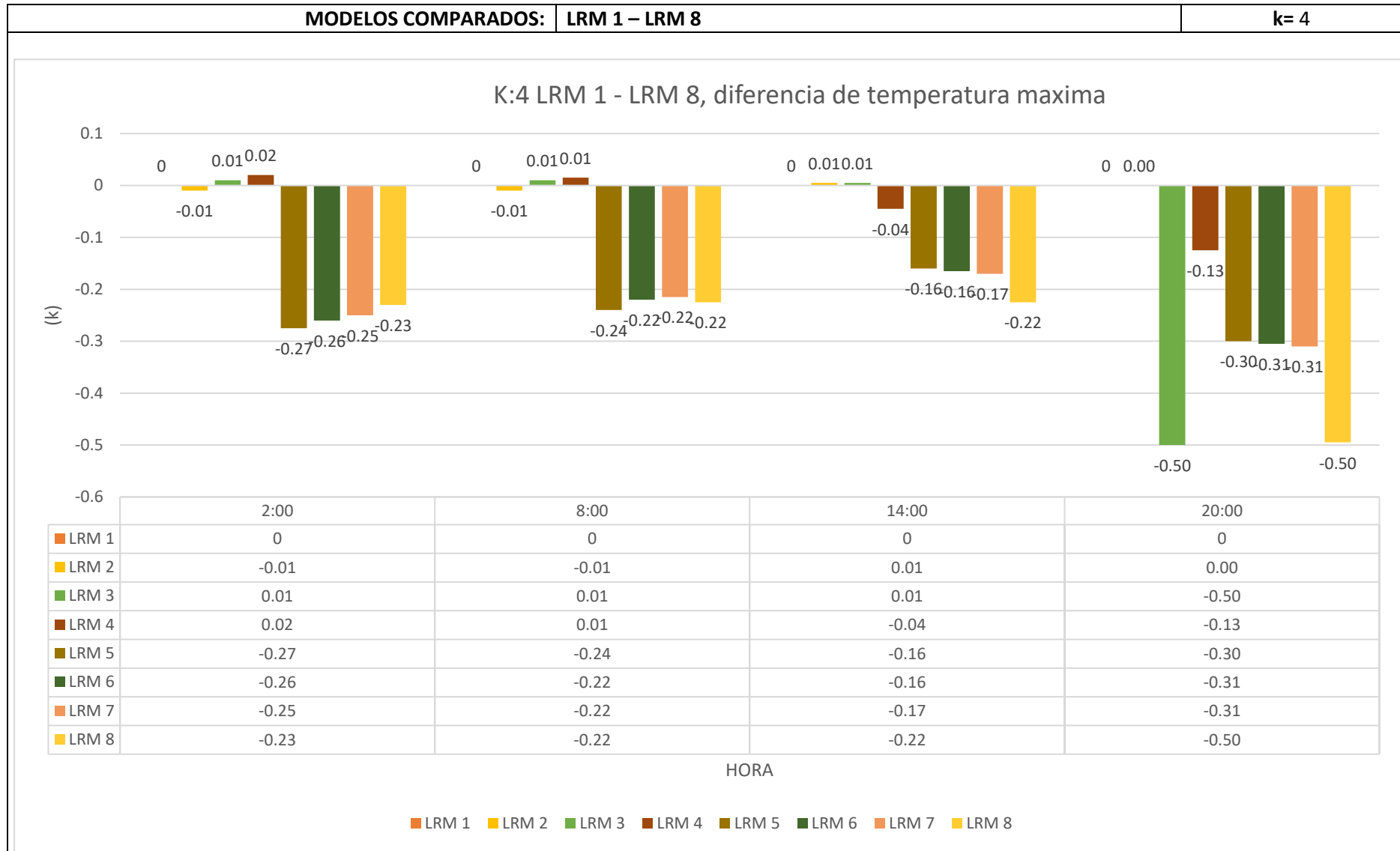
- La temperatura del aire es medida en °C. (T)
- La humedad relativa es medida en %. (q)
- min: mínimo, max: máximo; pro: promedio.

Una vez realizado las comparativas entre los dos escenarios planteados a las dos alturas simuladas, se realiza el proceso de discusión de resultados; en primera manera se realiza en análisis del factor (T); tanto en k=4 como en k=9.

Tabla 33. LRM 1 - LRM 8, diferencia de temperatura ambiente (k=4).







	Hora	LRM 1	LRM 2	LRM 3	LRM 4	LRM 5	LRM 6	LRM 7	LRM 8
k=4	2:00	26.78	26.77	26.77	26.76	27.05	27.04	27.03	27.01
	8:00	25.20	25.19	25.19	25.19	25.44	25.42	25.42	25.43
	14:00	36.24	36.25	36.25	36.20	36.08	36.08	36.07	36.02
	20:00	36.14	36.14	35.64	36.02	35.84	35.84	35.83	35.65

RESULTADOS: Reducción: 0.5 °C a las 20:00 en LRM 8; la (T) se encontró estable durante las 02:00 y 8:00, a partir de las 14:00 se vio una reducción del 0.22 °C en LRM 8; la segunda reducción en (t) se encontró en LRM 6 y 7 con 0.31 °C a las 20:00.

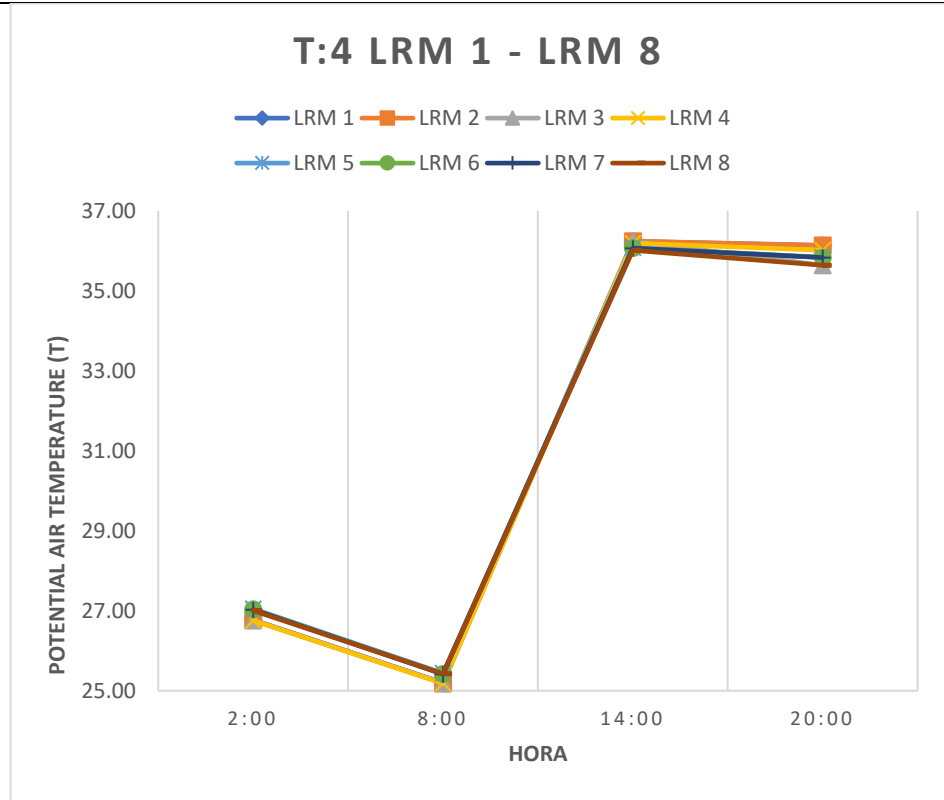
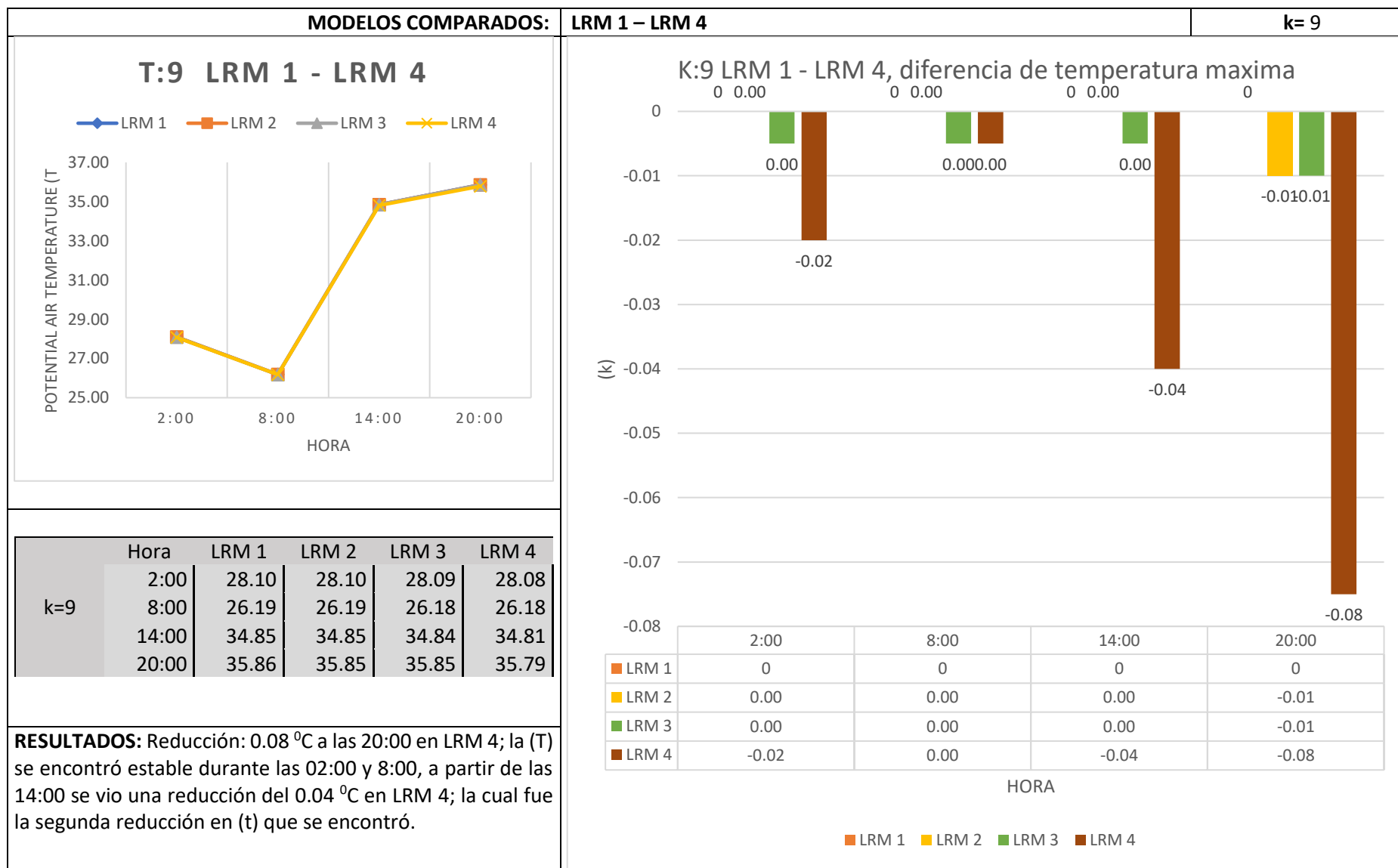
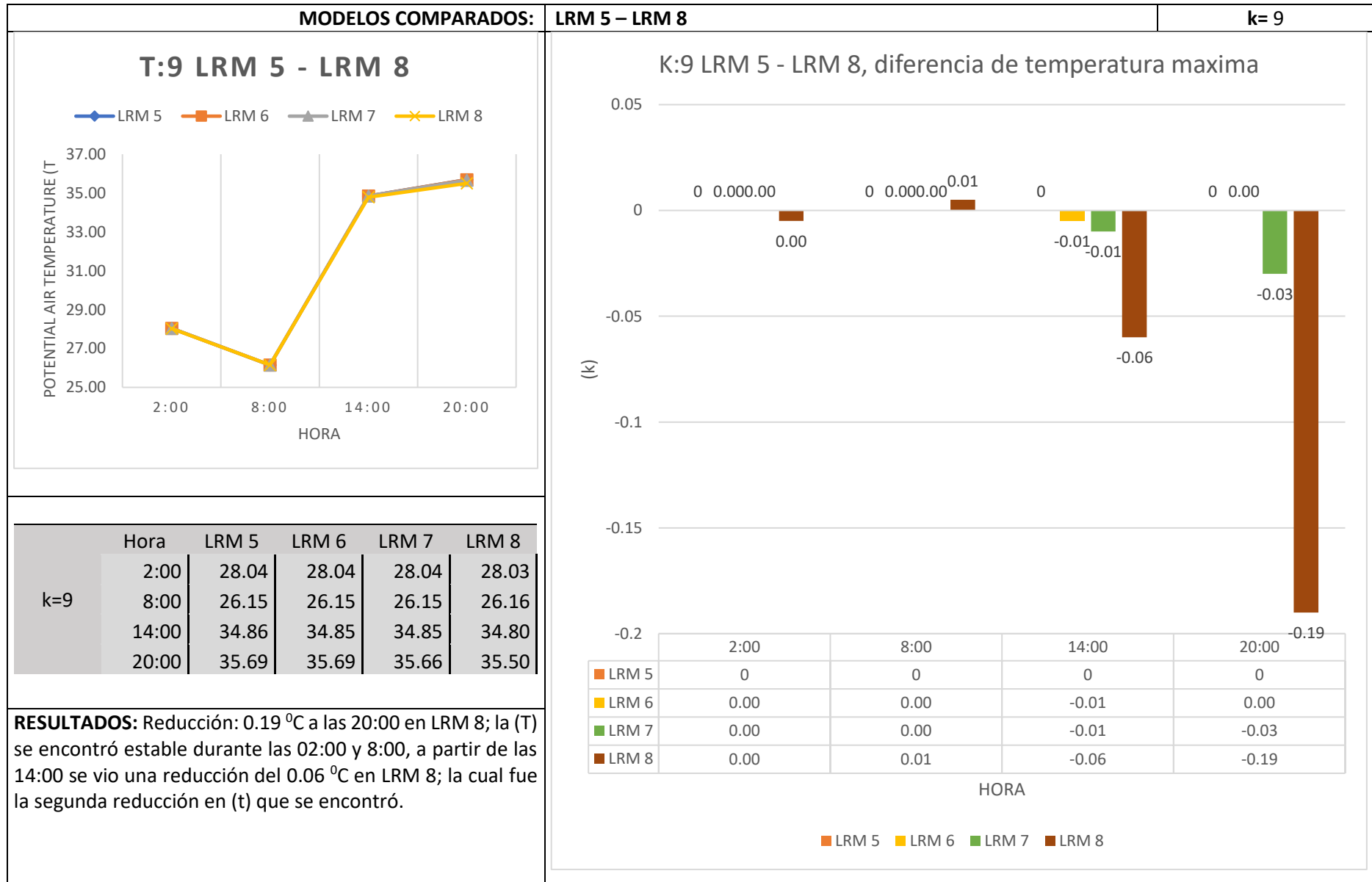
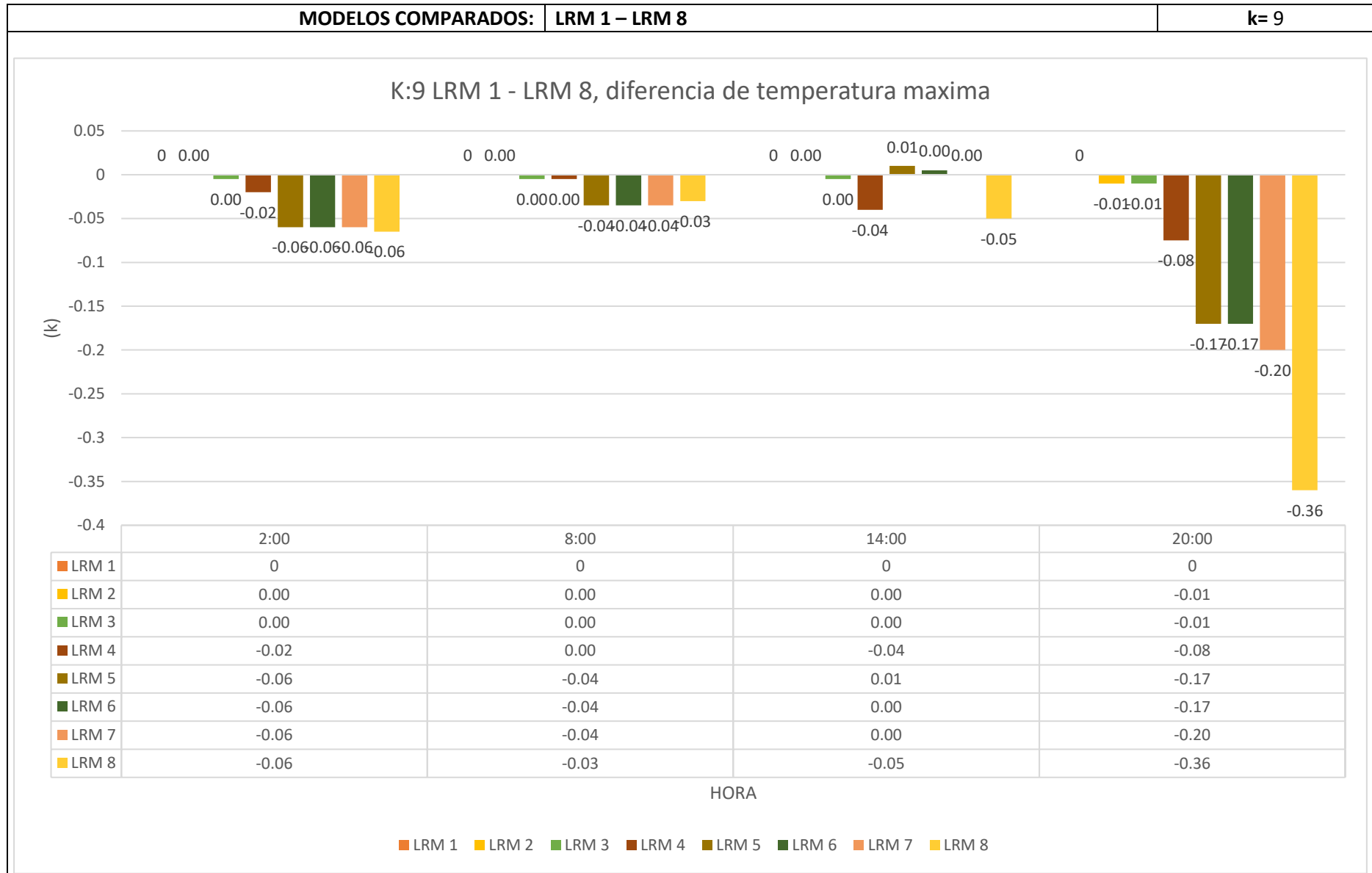


Tabla 34. LRM 1 - LRM 8, diferencia de temperatura ambiente (k=9).

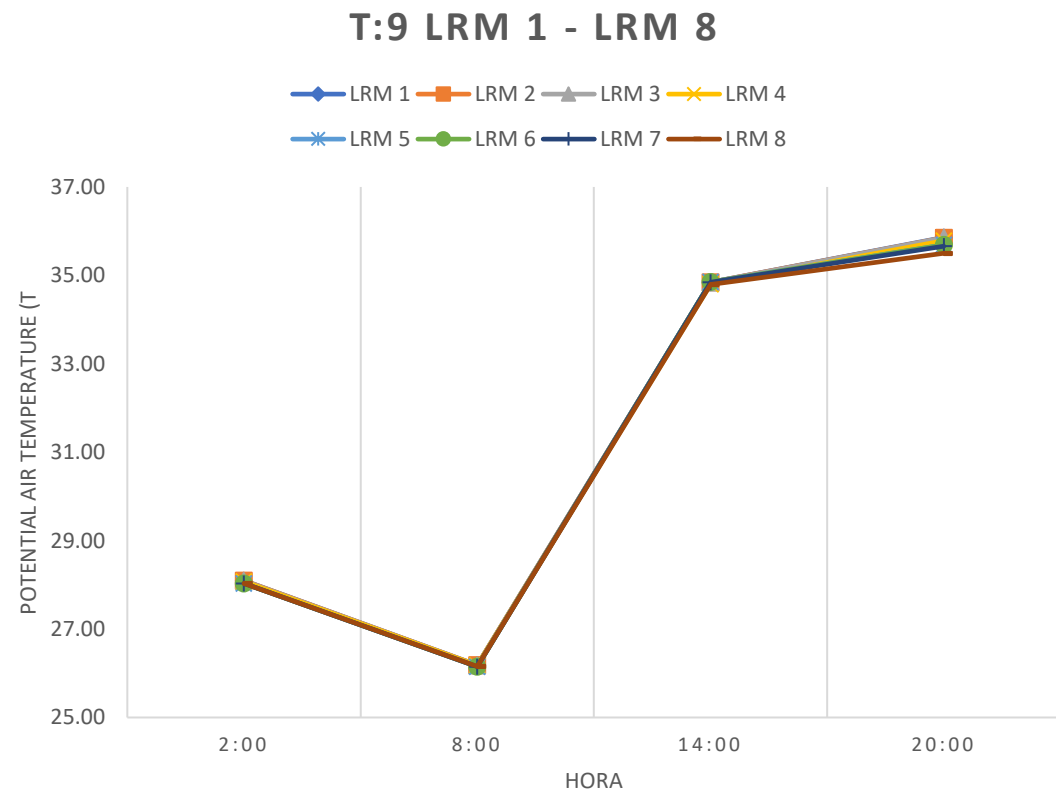






	Hora	LRM 1	LRM 2	LRM 3	LRM 4	LRM 5	LRM 6	LRM 7	LRM 8
k=9	2:00	28.10	28.10	28.09	28.08	28.04	28.04	28.04	28.03
	8:00	26.19	26.19	26.18	26.18	26.15	26.15	26.15	26.16
	14:00	34.85	34.85	34.84	34.81	34.86	34.85	34.85	34.80
	20:00	35.86	35.85	35.85	35.79	35.69	35.69	35.66	35.50

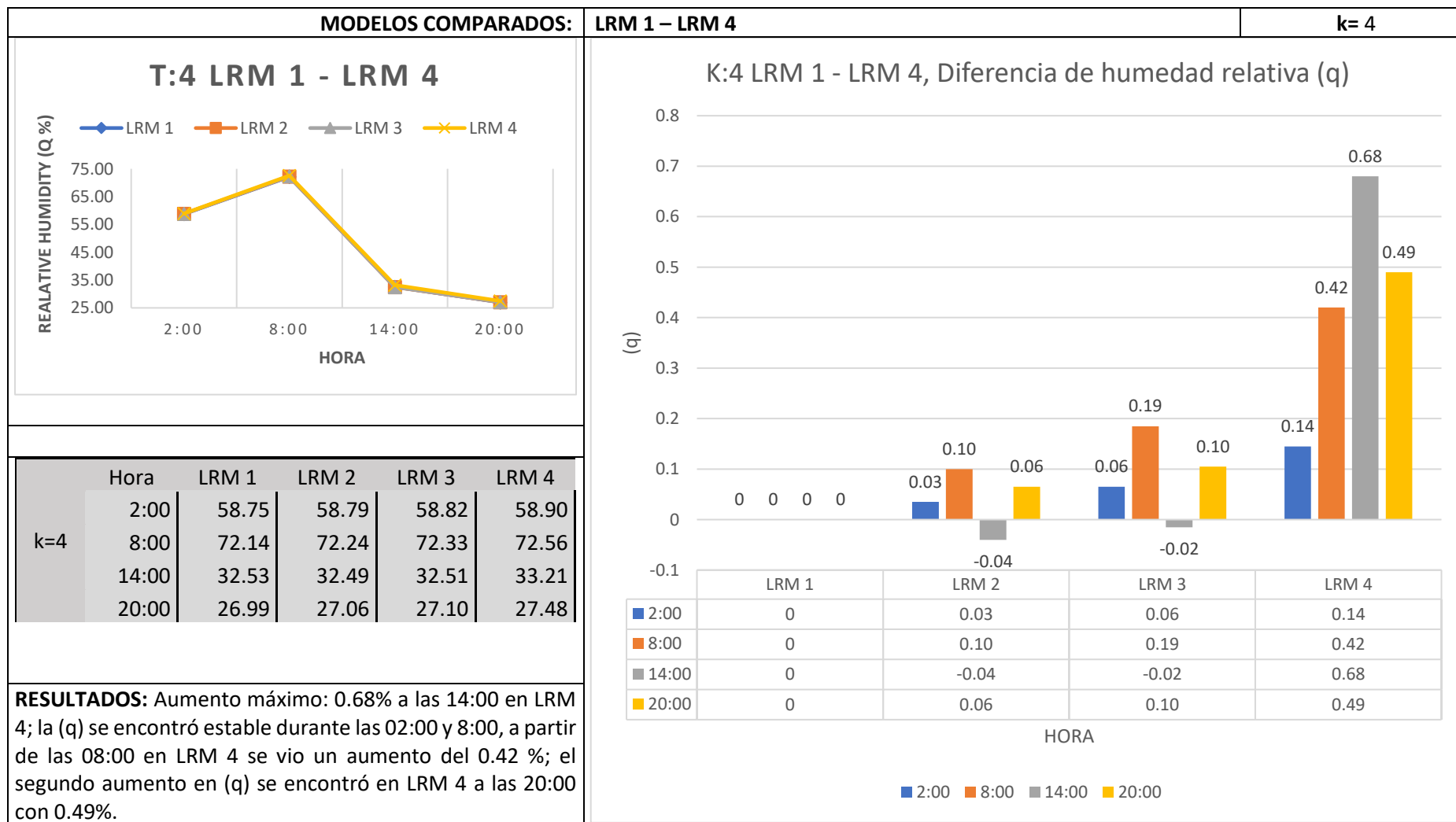
RESULTADOS: Reducción: 0.36 °C a las 20:00 en LRM 8; la (t) se encontró estable durante las 02:00 y 8:00, a partir de las 14:00 se vio una reducción del 0.05 °C en LRM 8; la segunda reducción en (t) se encontró en LRM 7 con 0.2 °C a las 20:00.

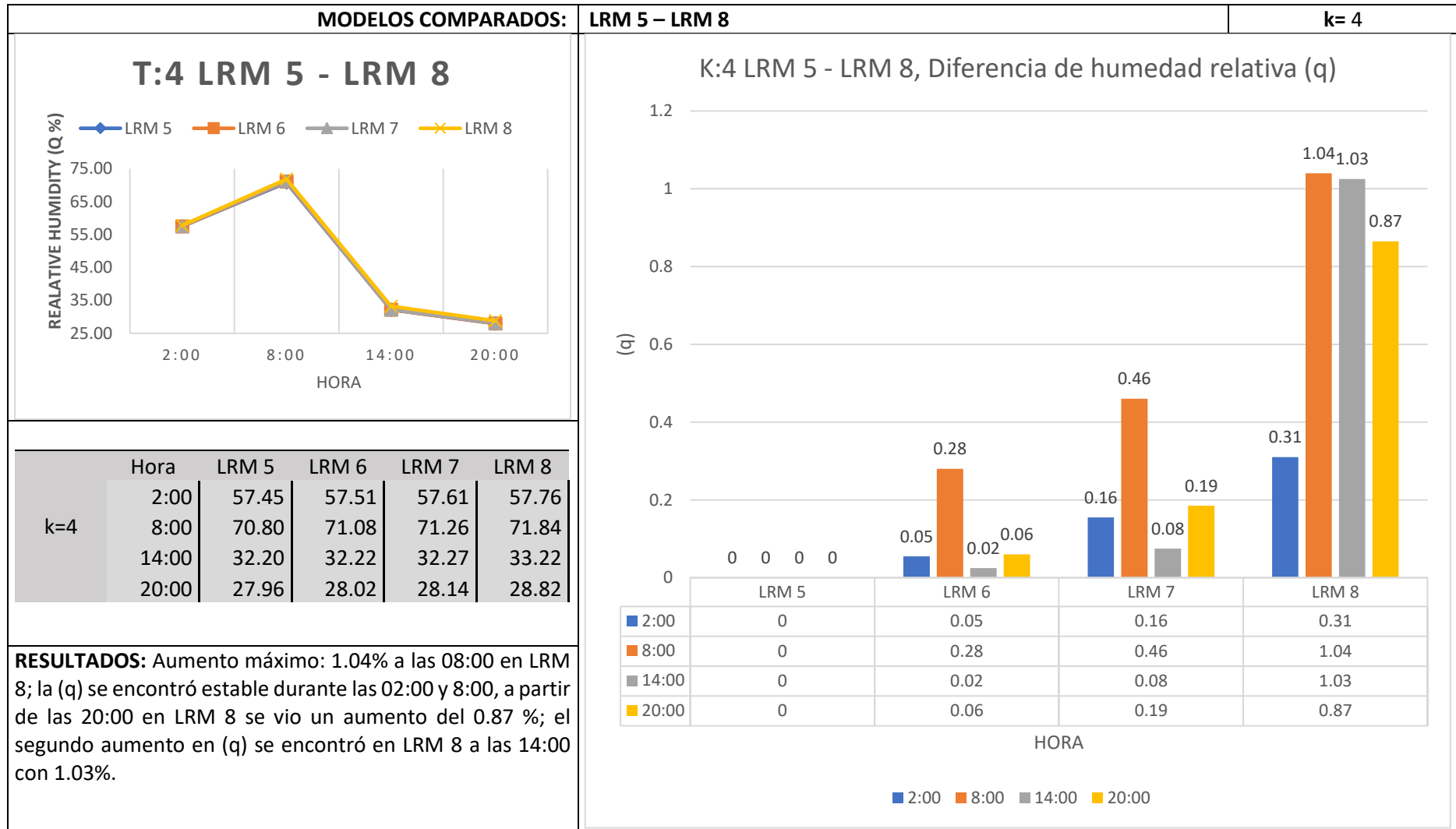


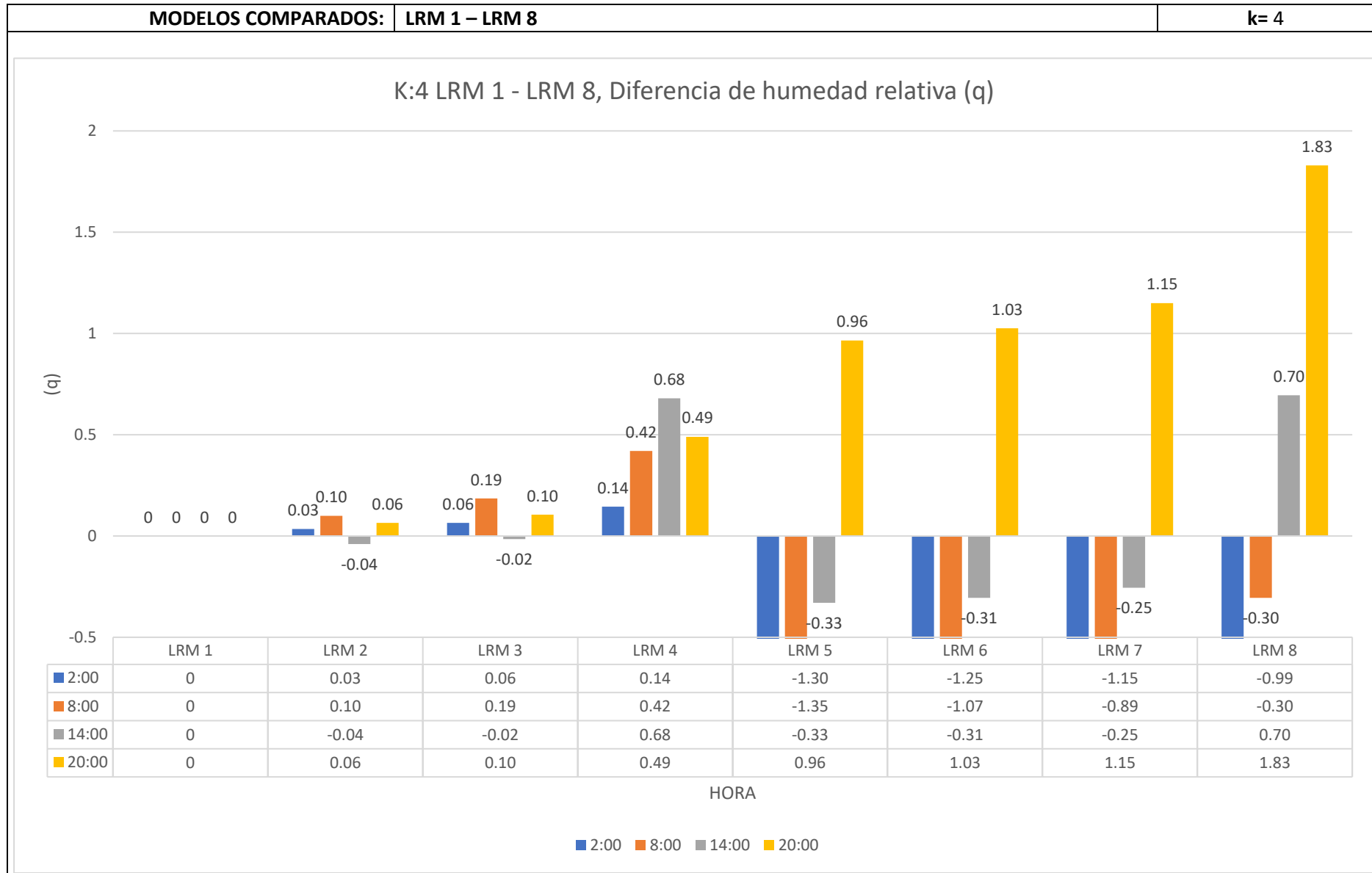
SIMULACIONES DE MICROCLIMAS URBANOS

Una vez realizado las comparativas entre los dos escenarios planteados a las dos alturas simuladas en (T), se realiza el proceso de discusión de resultados; ahora se realiza en análisis del factor (q); tanto en k=4 como en k=9.

Tabla 35. LRM 1 - LRM 8, diferencia de humedad relativa (k=4).

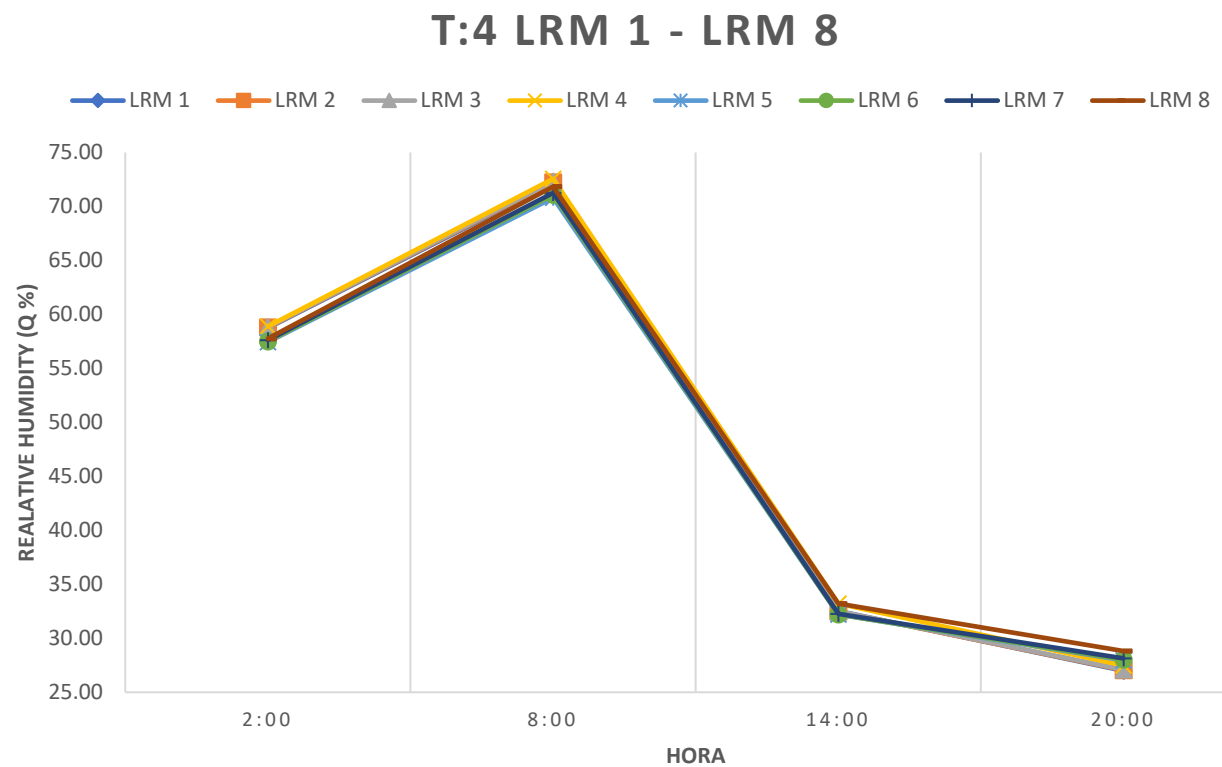






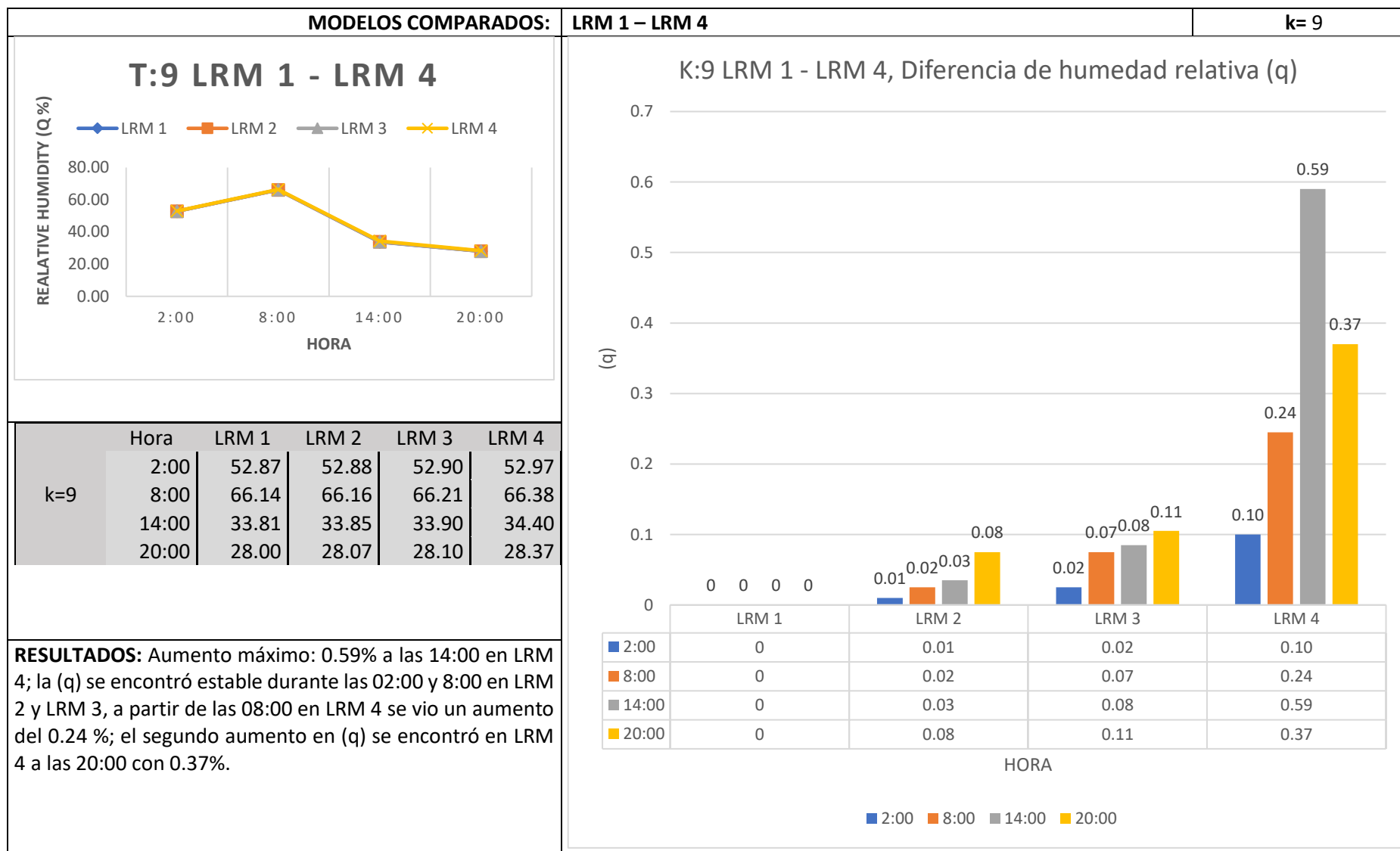
	Hora	LRM 1	LRM 2	LRM 3	LRM 4	LRM 5	LRM 6	LRM 7	LRM 8
k=4	2:00	58.75	58.79	58.82	58.90	57.45	57.51	57.61	57.76
	8:00	72.14	72.24	72.33	72.56	70.80	71.08	71.26	71.84
	14:00	32.53	32.49	32.51	33.21	32.20	32.22	32.27	33.22
	20:00	26.99	27.06	27.10	27.48	27.96	28.02	28.14	28.82

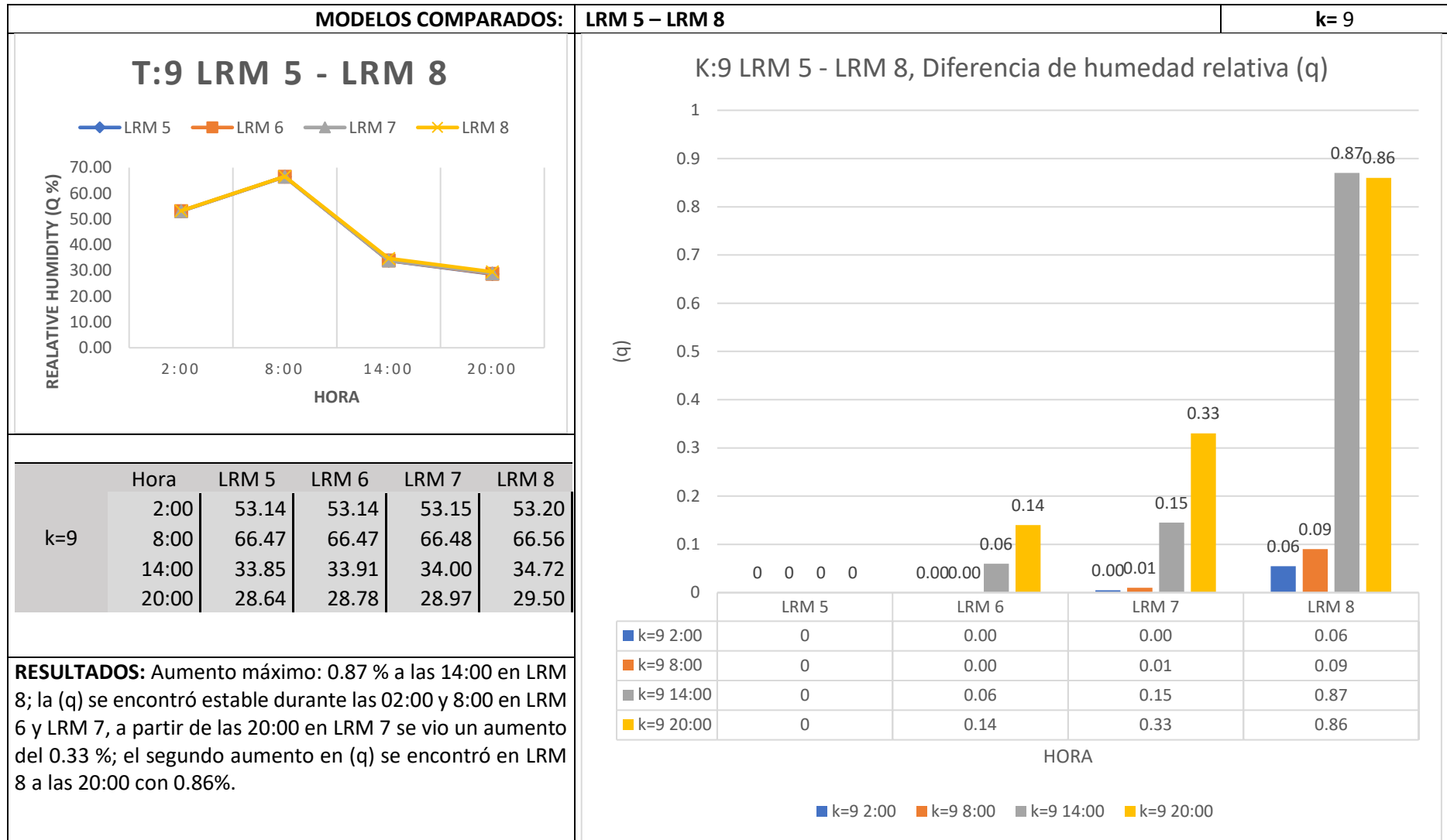
RESULTADOS: Aumento máximo: 1.83% a las 20:00 en LRM 8; la (q) se encontró estable durante las 02:00 y 8:00 en LRM 2 y LRM 3, a partir de las 20:00 en LRM 5 se vio un aumento del 0.96 %; el segundo aumento en (q) se encontró en LRM 7 a las 20:00 con 1.15%.

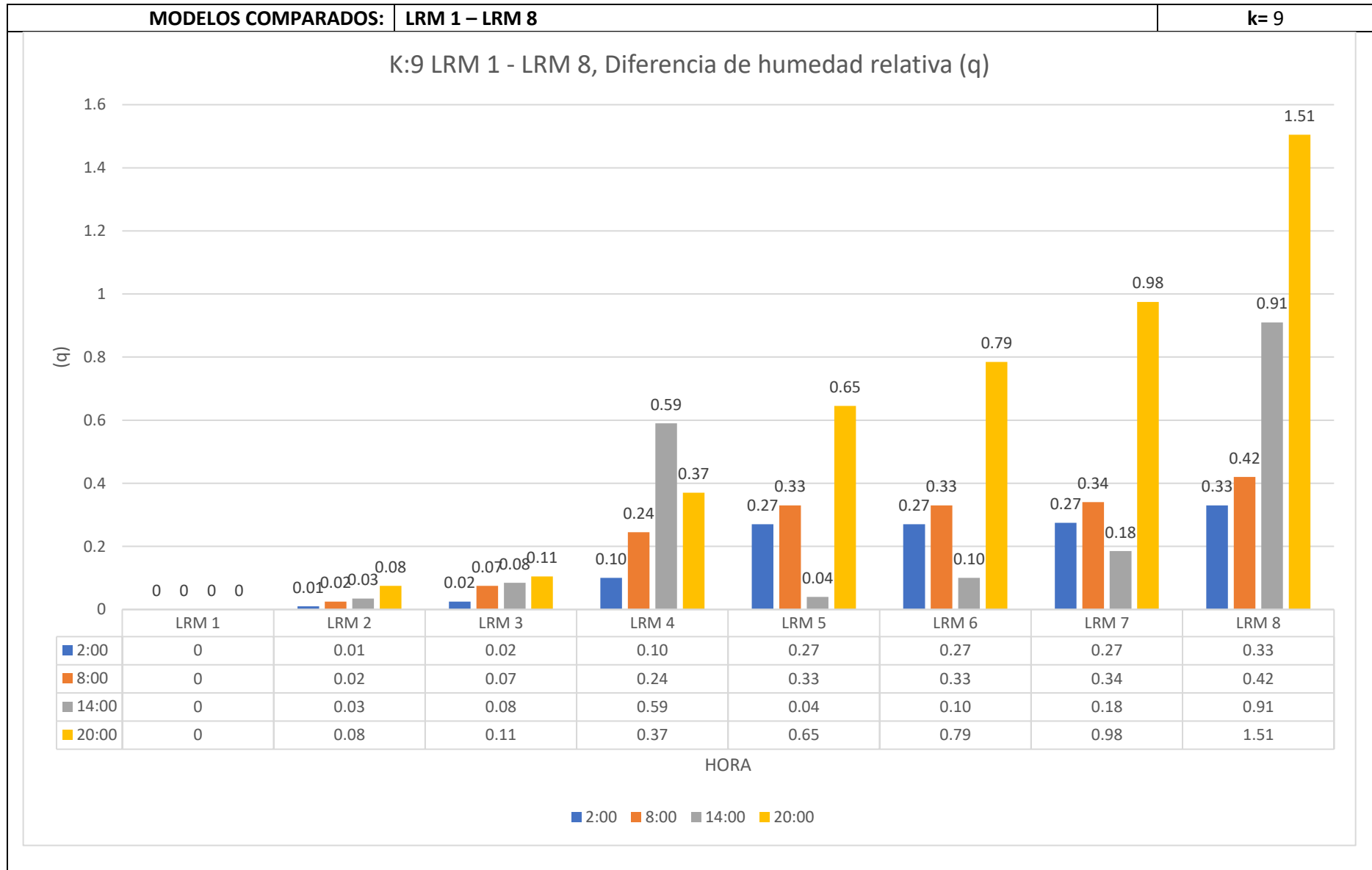


SIMULACIONES DE MICROCLIMAS URBANOS

Tabla 36. LRM 1 - LRM 8, diferencia de humedad relativa (k=9).

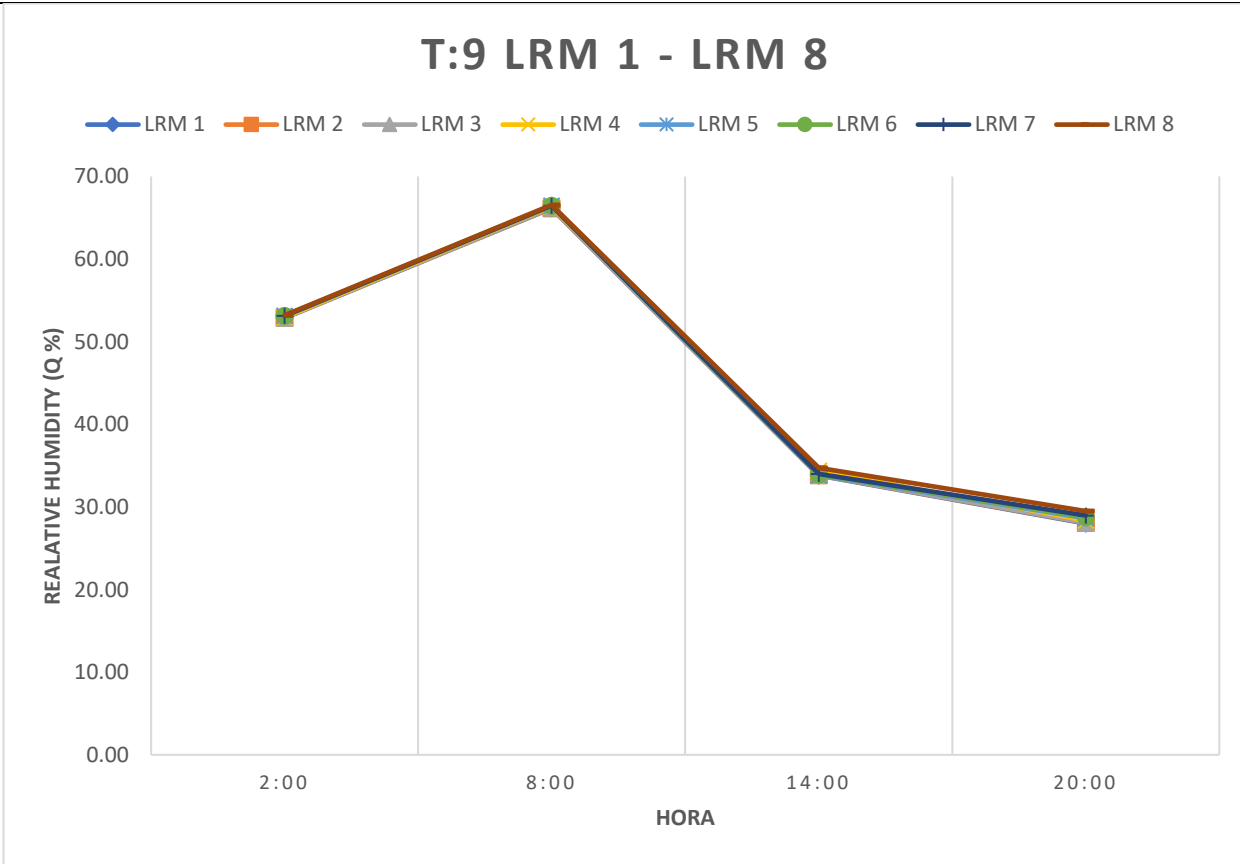






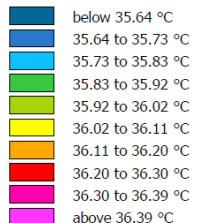
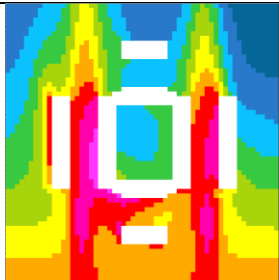
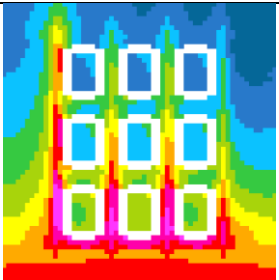
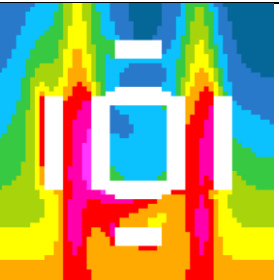
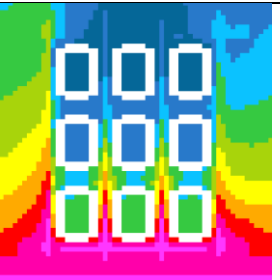
	Hora	LRM 1	LRM 2	LRM 3	LRM 4	LRM 5	LRM 6	LRM 7	LRM 8
k=9	2:00	52.87	52.88	52.90	52.97	53.14	53.14	53.15	53.20
	8:00	66.14	66.16	66.21	66.38	66.47	66.47	66.48	66.56
	14:00	33.81	33.85	33.90	34.40	33.85	33.91	34.00	34.72
	20:00	28.00	28.07	28.10	28.37	28.64	28.78	28.97	29.50

RESULTADOS: Aumento máximo: 1.51 % a las 20:00 en LRM 8; la (q) se encontró estable durante las 02:00 y 8:00 en LRM 2 y LRM 3, a partir de las 14:00 en LRM 4 se vio un aumento del 0.59 %; el segundo aumento en (q) se encontró en LRM 7 a las 20:00 con 0.98 %.



SIMULACIONES DE MICROCLIMAS URBANOS

Tabla 37. Reducciones presentadas en la temperatura ambiente (t), altura k:4.

Hora	Simulación LRM 001	Simulación LRM 007	Simulación LRM 003	Simulación LRM 008
20:00  <ul style="list-style-type: none"> ■ below 35.64 °C ■ 35.64 to 35.73 °C ■ 35.73 to 35.83 °C ■ 35.83 to 35.92 °C ■ 35.92 to 36.02 °C ■ 36.02 to 36.11 °C ■ 36.11 to 36.20 °C ■ 36.20 to 36.30 °C ■ 36.30 to 36.39 °C ■ above 36.39 °C 				
Temperatura ambiente k:4	36.14 °C	35.53 °C	35.64 °C	35.65 °C
Reducción presentada		-0.31 °C	-0.50 °C	-0.50 °C

Como se demuestra en las tablas 43 y 44, la reducción en la temperatura ambiente, se evidencio más a la altura de 1,8m (Altura del peatón), presentando una reducción de 0.50 °C en la simulación LRM 008 a las 20:00 horas. En cambio, a la altura de 11 m (Altura de cubierta) esta fue menos evidente con una reducción igualmente a las 20:00 horas de 0.36 °C en la simulación LRM 008.

Tabla 38. Reducciones presentadas en la temperatura ambiente (t), altura k:9.

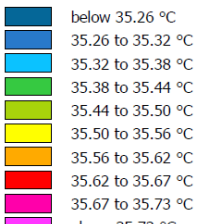
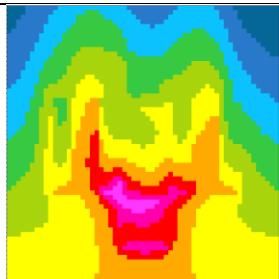
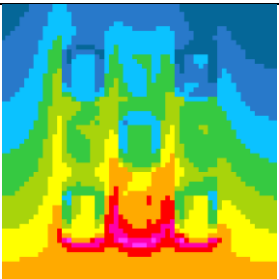
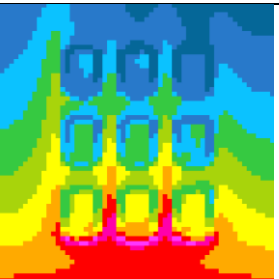
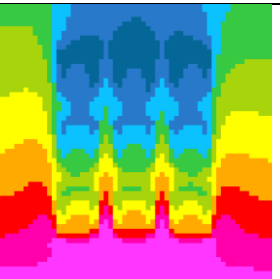
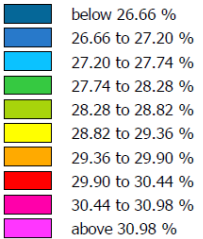




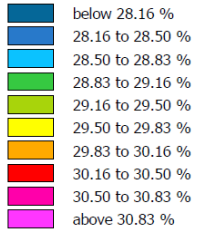

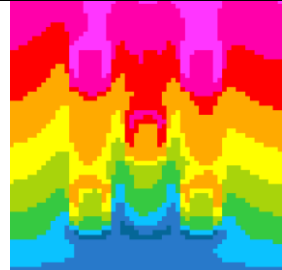
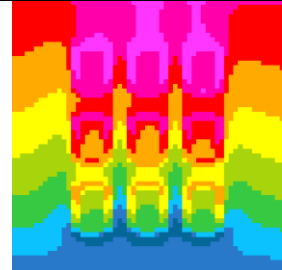
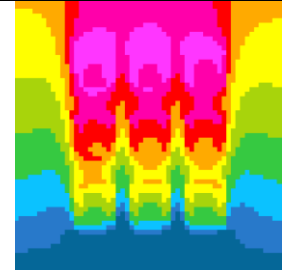
Hora	Simulación LRM 001	Simulación LRM 006	Simulación LRM 007	Simulación LRM 008
20:00  <ul style="list-style-type: none"> ■ below 35.26 °C ■ 35.26 to 35.32 °C ■ 35.32 to 35.38 °C ■ 35.38 to 35.44 °C ■ 35.44 to 35.50 °C ■ 35.50 to 35.56 °C ■ 35.56 to 35.62 °C ■ 35.62 to 35.67 °C ■ 35.67 to 35.73 °C ■ above 35.73 °C 				
Temperatura ambiente k:9	36.86 °C	35.69 °C	35.66 °C	35.50 °C
Reducción presentada		-0.17 °C	-0.20 °C	-0.36 °C

Tabla 39. Aumento en la humedad relativa (q), altura k:4.

Hora	Simulación LRM 001	Simulación LRM 006	Simulación LRM 007	Simulación LRM 008
20:00  <ul style="list-style-type: none"> below 26.66 % 26.66 to 27.20 % 27.20 to 27.74 % 27.74 to 28.28 % 28.28 to 28.82 % 28.82 to 29.36 % 29.36 to 29.90 % 29.90 to 30.44 % 30.44 to 30.98 % above 30.98 % 				
Humedad relativa k:4	26.99 %	28.02 %	28.14 %	28.82 %
Aumento presentado		1.08%	1.15 %	1.83 %

Con respecto al aumento de la humedad relativa (q), como se puede observar en las tablas 45 y 46, el aumento estuvo muy similar tanto a la altura k:4 (Altura del peatón) y k:9 (Altura de cubierta). Sin embargo, esta tiene un aumento superior en la simulación LRM 008 a las 20:00 horas a la altura k:4, donde presentó un aumento de 1.83%. Esta misma simulación, pero en k:9 ha presentado un aumento de 1.51 %.

Tabla 40 . Aumento en la humedad relativa (q), altura k:9.

Hora	Simulación LRM 001	Simulación LRM 006	Simulación LRM 007	Simulación LRM 008
20:00  <ul style="list-style-type: none"> below 28.16 % 28.16 to 28.50 % 28.50 to 28.83 % 28.83 to 29.16 % 29.16 to 29.50 % 29.50 to 29.83 % 29.83 to 30.16 % 30.16 to 30.50 % 30.50 to 30.83 % above 30.83 % 				
Humedad relativa k:9	28.00 %	28.78 %	28.97 %	29.50 %
Aumento presentado		0.79 %	0.98 %	1.51 %

De esta manera y analizando los resultados anteriormente expuestos, derivadas de la simulación mediante ENVI-met 4.4.6, éstas si están en la misma línea de los casos de investigación expuestos en el apartado 3.3. Ya que se logró evidenciar que mediante el uso de los sistemas vegetales en urbes se ha logrado poder reducir la temperatura del aire. Es así como este caso simulado en ambos escenarios se visualiza que si es viable la utilización de estos sistemas en la ciudad de Sevilla.

El uso de cubiertas vegetales ha sido beneficioso para la barriada “Remedios el viejo”, a mayor cantidad de sistemas vegetales mayor reducción de la temperatura del aire se evidenció, al igual que el aumento de la humedad relativa.

Sin embargo, con el solo uso de sistemas vegetales en cubierta se evidenció la viabilidad de la reducción de (T) y el aumento de (q). La reducción también se evidenció al implementar muros verdes, pero este último necesita una asistencia técnica más elevada para el mantenimiento de la fachada, algo que en las cubiertas vegetales de uso extensivo es mínimo. Los costes a largo plazo para las comunidades serán más elevados al realizar la implementación de las fachadas verdes.

En relación con la amortización entre una cubierta y un muro vegetal, las cubiertas verdes pueden realizar esto en aproximadamente 10 años, algo que en los muros verdes necesitaría más tiempo.

De esta manera el sistema vegetal más recomendado para contrarrestar los efectos de la isla de calor urbano es el sistema vegetal implementado en cubiertas. Esto analizando que se busca replicar en más barriadas en Sevilla, y a largo plazo por cuestiones monetarias es más viable dar mantenimiento a las cubiertas verdes.

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

Los sistemas vegetales son actualmente una de las estrategias de amortiguación pasiva que ha ido aumentando su implementación en los últimos años en Europa, y el mundo. Sin embargo, la ejecución de estos no ha sido planificada de tal manera que pueda actuar de forma urbana, sino que han sido realizados de manera puntual sobre edificaciones, que si bien el uso de estas sobre una edificación trae consigo múltiples beneficios, el uso de estos en edificios continuos trae más beneficios urbanos, como es el contrarrestar el fenómeno de isla de calor urbano mediante la generación de islas verdes. De igual manera en España la escasa legislación que existe no obliga a las construcciones nuevas a la implementación de estas, en comparación con otros países como Alemania, Canadá o Japón en éstos la construcción de sistemas vegetales es de uso obligatorio.

En el capítulo 3.2, se logró determinar la viabilidad del uso de las cubiertas vegetales en España en la actualidad, a través de un compilado en una base de estudio de empresas que implementan estos sistemas vegetales. En éstos se logró evidenciar que actualmente en el mercado ya se están utilizando estos y existe actualmente dos clasificaciones: La primera denominado sistema multicapa, este se desarrolla en función de la vegetación que esta tendrá, encontrando las cubiertas extensivas, semi intensivas e intensivas. La segunda denominada sistema contenedor de cultivo, este es desarrollado de forma modular e incluye el jardín y el suelo técnico dentro del módulo.

En cuanto a lo abordado con anterioridad, se logró determinar que el sistema vegetal en cubierta más apto para ser implementado en edificaciones existentes es el sistema multicapa, en específico la tipología de cubierta de uso extensivo. Este sistema es el más ligero, debido al peso mínimo que este puede tener sobre una construcción existente con un aproximado de 60 kg/m^2 , la altura de la construcción del sistema es de 60 mm, el mantenimiento e irrigación es la más baja. El tiempo de instalación es la que menos requiere dentro de los sistemas multicapas con $1,5 \text{ horas} \times \text{m}^2$, el coste de los materiales es de aproximadamente $80\text{€} \times \text{m}^2$, y el de mano de obra de $30\text{€} \times \text{m}^2$.

Igualmente, en el capítulo 3.3 efectos térmicos se logró analizar cinco casos de investigación que implementan sistemas vegetales en cubierta. Una vez analizados estos se logró determinar que mediante el uso de las cubiertas vegetales se redujo la temperatura al igual que el flujo de calor en las estructuras donde se utilizaron, se alcanzó a detener hasta en un 60% la ganancia de calor de las cubiertas. Estos a su vez lograron reducir hasta en un 10% las condiciones de calor en temperatura ambiente, a mayor cantidad de cubierta verde utilizada mayor efecto de reducción de calor.

Por otro lado, en el capítulo 4.2 sistema de cubiertas vegetales en Sevilla, se realizó un repositorio de los casos identificados en la ciudad, estos sirvieron como base para identificar los sistemas de cubiertas vegetal que están siendo implementados a nivel local. Se logró analizar las ventajas que estos sistemas tenían en las edificaciones tales como: mayor eficiencia energética debido a una transmitancia térmica baja y una mayor inercia térmica con respecto a una cubierta convencional lo que permite un mayor aislamiento de la

edificación. Reducción de hasta 5 °C la temperatura interior de las edificaciones en verano, mientras que en invierno esta temperatura es mantenida evitando el uso de aires/calefacción.

Dentro de la visita de campo realizada al centro comercial La Lagoh, se determinó algunas de las desventajas de estos, éstas son generadas normalmente por la mala implementación en el proceso constructivo, que puede desencadenar en la pérdida de la vegetación originalmente plantada, como es el caso de La Lagoh, ya que éste ha tenido una pérdida de un 40%. Adicional a esto el mal mantenimiento del sistema, puede desencadenar el mal riego, y esto a su vez la pérdida de vegetación.

Se determinó que, mediante el uso de cubiertas extensivas en edificaciones existentes, en este caso bajo las simulaciones realizadas mediante el software ENVI-met 4.4.6 en la barriada “Remedios el viejo”, la temperatura ambiente disminuyó en un 0.50 °C y la humedad relativa aumento en 1.83 %. Factores importantes que indican que se creó un microclima urbano en contraste a las edificaciones que no tenían en su envolvente algún sistema vegetal. Se logró pasar de 36.14 °C en un escenario sin ningún tipo de envolvente a 35.65 °C eso con respecto a la temperatura ambiente; adicional se pasó de 26.99 % a 28.82 % con respecto a la humedad relativa.

Estos resultados se evidenciaron en las simulaciones realizadas a los nueve bloques que componen la barriada, los resultados obtenidos en la simulación a un solo bloque son inferiores, de tal manera esto indica que a mayor implementación de los sistemas vegetales mayor serán los resultados, las determinantes de temperatura ambiente y humedad relativa seguían disminuyendo y aumentando respectivamente. Logrando de esta manera evidenciar la generación de las islas verdes urbanas que ponen limite al creciente fenómeno de isla de calor.

En relación con lo antes expuesto, la pérdida de temperatura ambiente en un bloque que tiene 640 m² de cubiertas vegetales fue de 0.13 °C, mientras que está pérdida fue de 0.50 °C en los nueve bloques, estos tienen 8640 m² de cubiertas verdes. Por otro lado, el aumento de la humedad relativa se vio reflejada en un bloque con 0.10 % y en los nueve bloques a 1.83%.

De los cuatro rangos horarios analizados 02:00, 08:00, 14:00 y 20:00, las cubiertas vegetales demostraron que tienen mayor relevancia su uso sobre las 20:00, con respecto a la generación de microclimas urbanos. Lo cual es beneficioso para las ciudades, ya que alrededor de este horario es donde el fenómeno de isla de calor tiene mayor relevancia al aumentar las temperaturas de las ciudades hasta en 1,5 °C y disminuir la humedad relativa de estas. Dando sustento a esto la disminución de temperatura ambiente entre las 2:00 y las 14:00 fue muy próxima a 0.22 °C, sin embargo, a las 20:00 fue de 0.50 °C, todo esto comparado bajo el caso de la simulación realizada a los nueve bloques con cubierta vegetal.

Analizando las dos alturas en que se efectuaron las simulaciones, a) altura peatón de 1.5 metros y b) altura de la cubierta de 11 metros, la primera demostró menor temperatura ambiente y mayor aumento de humedad relativa del aire. Dentro de lo anterior expuesto en el horario de las 20:00 en la altura (a) con una reducción de 0.50 °C en contraste con la altura (b) con una reducción de 0.36 °C. Estos resultados son más evidentes a la altura (a) debido a

que en estos se forman cañones urbanos que ayudan a la circulación de aire que a su vez reducen la temperatura ambiente.

De esta forma mediante el desarrollo de esta investigación se ha verificado mediante las simulaciones que el uso de los sistemas vegetales en las edificaciones es una estrategia viable para generar amortiguación pasiva dentro de las ciudades, ya que estas ayudan en la generación de microclimas urbanos que permiten reducir la temperatura ambiente. Al igual de jugar un papel importante del aumento de la humedad relativa del aire, esto se ve directamente relacionado con la reducción que se puede generar a la temperatura ambiente.

6.1 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Después de realizada la presente investigación se pueden plantear futuras líneas de investigación a desarrollar como las siguientes:

- Estudio económico-financiero en la implementación de sistemas vegetales en una edificación existente, realizando estudios comparativos de costes entre los diferentes sistemas.
- Analizar la posibilidad de implementar otras estrategias de amortiguación térmica en edificaciones existentes.
- Implementar la extensión de la propuesta planteada a otras áreas urbanas de la ciudad de Sevilla, al igual que de otras ciudades. Donde se puede analizar la efectividad de estas bajo otros climas y otras tipologías de edificaciones.
- Analizar otros parámetros en ENVI-met, que fundamenten la eficacia de los sistemas vegetales en la generación de microclimas, como lo puede llegar a ser temperatura media radiante, temperatura de superficie, etc.
- Desarrollar los detalles constructivos específicos a ser implementados para la ejecución de los sistemas vegetales en la barriada “Remedios el viejo”.
- Analizar índices de confort en las viviendas bajo cubierta, de esta forma ver las mejoras en la eficiencia energética del edificio.
- Mediante el programa de modelado SPACES propio del ENVI-met, Simular mediante SIG la implementación de sistemas vegetales en áreas urbanas más amplias, con miras de verificar el efecto de isla verde en las ciudades.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. C. V. B. Prates, M. C. E. Rafael, M. A. S. Freitas, & E. A. Soares, *Analysis of Behavioral Changes Observed in Users of Sustainable Practices* (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-30306-8_12.
2. C. Yan, Q. Guo, H. Li, L. Li, & G. Y. Qiu, Quantifying the cooling effect of urban vegetation by mobile traverse method: A local-scale urban heat island study in a subtropical megacity. *Building and Environment*, **169** (2020). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106541>.
3. IPCC, Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.,. *Ipcc - Sr15*, **2** (2018) 17–20.
4. N. Debbage & J. M. Shepherd, The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems*, **54** (2015) 181–194. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.08.002>.
5. J. S. Deng, K. Wang, Y. Hong, & J. G. Qi, Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning*, **92** (2009) 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.001>.
6. S. P. Church, From street trees to natural areas: retrofitting cities for human connectedness to nature. *Journal of Environmental Planning and Management*, **61** (2018) 878–903. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1428182>.
7. Y. Morimoto, Biodiversity and ecosystem services in urban areas for smart adaptation to climate change: “Do you Kyoto”? *Landscape and Ecological Engineering*, **7** (2011) 9–16. <https://doi.org/10.1007/s11355-010-0140-1>.
8. F. Yang, S. S. Y. Lau, & F. Qian, Summertime heat island intensities in three high-rise housing quarters in inner-city Shanghai China: Building layout, density and greenery. *Building and Environment*, **45** (2010) 115–134. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.010>.
9. A. K. Pandey, M. Pandey, & B. D. Tripathi, Air Pollution Tolerance Index of climber plant species to develop Vertical Greenery Systems in a polluted tropical city. *Landscape and Urban Planning*, **144** (2015) 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.014>.
10. S. Cascone, A. Gagliano, T. Poli, & G. Sciuto, Thermal performance assessment of extensive green roofs investigating realistic vegetation-substrate configurations. *Building Simulation*, **12** (2019) 379–393. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0488-y>.
11. Y. Zhang, L. Zhang, L. Ma, Q. Meng, & P. Ren, Cooling benefits of an extensive green roof and sensitivity analysis of its parameters in subtropical areas. *Energies*, **12** (2019). <https://doi.org/10.3390/en12224278>.

12. B. Scharf & I. Zluwa, Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems. *Energy and Buildings*, **151** (2017) 564–573. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.050>.
13. A. X. Yang & J. Wei, *Green roof* (2018). https://doi.org/10.1007/978-3-662-49120-1_51.
14. K. Perini, A. Chokhachian, S. Dong, & T. Auer, Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper. *Energy and Buildings*, **152** (2017) 373–384. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.061>.
15. S. Tsoka, A. Tsikaloudaki, & T. Theodosiou, Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. *Sustainable Cities and Society*, **43** (2018) 55–76. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>.
16. EUR-Lex - 52019DC0640 - EN - EUR-Lex. (n.d.). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2> (accessed July 11, 2021).
17. M. Ossewaarde & R. Ossewaarde-Lowtoo, The eu's green deal: A third alternative to green growth and degrowth? *Sustainability (Switzerland)*, **12** (2020) 1–15. <https://doi.org/10.3390/su12239825>.
18. K. Ward, S. Lauf, B. Kleinschmit, & W. Endlicher, Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, **569–570** (2016) 527–539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119>.
19. M. G. Vaquero, A. Sánchez-Bayón, & J. Lominchar, European green deal and recovery plan: Green jobs, skills and wellbeing economics in Spain. *Energies*, **14** (2021). <https://doi.org/10.3390/en14144145>.
20. A. M. Wlodarczyk & J. M. R. D. Mascarenhas, Nature in cities. Renaturalization of riverbanks in urban areas. *Open Engineering*, **6** (2016) 681–690. <https://doi.org/10.1515/eng-2016-0095>.
21. P. M. Kellstedt, S. Zahran, & A. Vedlitz, Personal efficacy, the information environment, and attitudes toward global warming and climate change in the United States. *Risk Analysis*, **28** (2008) 113–126. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01010.x>.
22. A. A. Rolando, P. L. Ralph, O. D. Cicero, & A. G. John, Views towards sustainable environment on global warming mitigation: Silver pompano study of JBLFMU-MOLO. *Proc. 14th Annu. Gen. Assem. Conf. Int. Assoc. Marit. Univ. IAMU AGA 2013* (2020), pp. 33–38.
23. K. Kasemsap, *Global warming and climate change: Challenges and impacts* (2018). <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-3379-5.ch004>.
24. W. Landman, Climate change 2021: the physical science basis. *South African Geographical Journal*, **92** (2010) 86–87. <https://doi.org/10.1080/03736245.2010.480842>.

25. O. Edenhofer & K. Seyboth, *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* (2013). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375067-9.00128-5>.
26. IPCC, Calentamiento global de 1,5°C. Resumen técnico. (2019) 110.
27. B. Raji, M. J. Tenpierik, & A. Van Den Dobbelsteen, The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **45** (2015) 610–623. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.011>.
28. Enery News, El CO2 es responsable del 81,2% de las emisiones de gases de efecto invernadero. (n.d.). <https://www.factorco2.com/es/el-co2-es-responsable-del-812-de-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero/noticia/2448> (accessed August 13, 2021).
29. M. Abdellatif & A. Al-Shamma'a, Review of sustainability in buildings. *Sustainable Cities and Society*, **14** (2015) 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.09.002>.
30. E. Mills, Building commissioning: A golden opportunity for reducing energy costs and greenhouse gas emissions in the United States. *Energy Efficiency*, **4** (2011) 145–173. <https://doi.org/10.1007/s12053-011-9116-8>.
31. B. Raji, M. J. Tenpierik, & A. Van Den Dobbelsteen, The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **45** (2015) 610–623. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.011>.
32. G. Mutani & V. Todeshi, The Effects of Green Roofs on Outdoor Thermal Comfort, Urban Heat Island Mitigation and Energy Savings. *atmosphere*, (2020).
33. B. Cubides & J. Suarez, DIAGNÓSTICO DE ESTRATEGIAS PARA MITIGAR LA ISLA DE CALOR EMPLEANDO PAVIMENTO PIGMENTADO. (n.d.).
34. L. Kleerekoper, M. Van Esch, & T. B. Salcedo, How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, **64** (2012) 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>.
35. B. Arellano & J. Roca, Urban landscapes and night time urban heat island. *Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng.* (2020). <https://doi.org/10.1117/12.2573599>.
36. J. K. W. Wong & L. S. K. Lau, From the “urban heat island” to the “green island”? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green roofs in Mongkok district of Hong Kong. *Habitat International*, **39** (2013) 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2012.10.005>.
37. Y. Yan, H. Zhang, J. Meng, Y. Long, X. Zhou, Z. Li, Y. Wang, & Y. Liang, Carbon footprint in building distributed energy system: An optimization-based feasibility analysis for potential emission reduction. *Journal of Cleaner Production*, **239** (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117990>.
38. J. Solís-Guzmán, M. Marrero, & A. Ramírez-De-Arellano, Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain). *Ecological Indicators*, **25** (2013) 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.008>.

39. D. Rich, K. Levin, J. Finnegan, & A. Mitra, New Greenhouse Gas Protocol standards for quantifying GHG effects of policies and tracking progress toward mitigation goals. *Air Waste Manag. Assoc. - Clim. Chang. Conf. 2013 Impacts, Policy Regul.* (2014), pp. 162–166.
40. D. Pandey, M. Agrawal, & J. S. Pandey, Carbon footprint: Current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, **178** (2011) 135–160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>.
41. A. Sharifi, Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Science of the Total Environment*, **750** (2021). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141642>.
42. N. Khan, M. K. Jhariya, D. K. Yadav, & A. Banerjee, Herbaceous dynamics and CO₂ mitigation in an urban setup—a case study from Chhattisgarh, India. *Environmental Science and Pollution Research*, **27** (2020) 2881–2897. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07182-8>.
43. J. Ma & J. Peng, Research progress on water footprint. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, **33** (2013) 5458–5466. <https://doi.org/10.5846/stxb201305131040>.
44. Singular Green, Cubiertas vegetales. *Cubiertas vegetales*, (2020).
45. A. B. Besir & E. Cuce, Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **82** (2018) 915–939. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>.
46. K. Vijayaraghavan, Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **57** (2016) 740–752. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>.
47. D. Townshend & A. Duggie, *Study on Green Roof Application in Hong Kong* (2007).
48. C.-F. Chen, Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: A review. *Ecological Engineering*, **52** (2013) 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.083>.
49. G. Pérez, J. Coma, I. Martorell, & L. F. Cabeza, Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **39** (2014) 139–165. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.055>.
50. M. Chàfer, A. L. Pisello, C. Piselli, & L. F. Cabeza, Greenery system for cooling down outdoor spaces: Results of an experimental study. *Sustainability (Switzerland)*, **12** (2020). <https://doi.org/10.3390/SU12155888>.
51. S. Seyam, The impact of greenery systems on building energy: Systematic review. *Journal of Building Engineering*, **26** (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100887>.
52. L. Pan & L. M. Chu, Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study. *Building and Environment*, **96** (2016) 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.033>.

53. M. Yamasaki, A. Mizutani, & T. Ohsawa, Cooling load reduction effect of green roof and green wall in the case of building with thermal thin wall. *AIJ Journal of Technology and Design*, **15** (2009) 155–158. <https://doi.org/10.3130/aijt.15.155>.
54. C. Li & X. Pan, Research on environmental effects of green-wall based on computer simulation analysis. *Shenyang Jianzhu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, **30** (2014) 362–368. <https://doi.org/10.11717/j.issn:2095-1922.2014.02.27>.
55. D. Tachibana, S. Naoki, T. Maki, Y. Sato, S. Kikuchi, & K. Imai, Important issues in green wall planning necessary to create the fine greening of urban areas. *AIJ Journal of Technology and Design*, **17** (2011) 699–702. <https://doi.org/10.3130/aijt.17.699>.
56. Y. Baran & A. B. Gültekin, *Green wall systems: A literature review* (2018). https://doi.org/10.1007/978-3-319-64349-6_8.
57. U. Mazzali, F. Peron, P. Romagnoni, R. Pulselli, & S. Bastianoni, Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. *Building and Environment*, **64** (2013) 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.005>.
58. B. Raji, M. J. Tenpierik, & A. Van Den Dobbelsteen, The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. (2015). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.011>.
59. F. Olivieri, R. C. Grifoni, D. Redondas, J. A. Sánchez-Reséndiz, & S. Tascini, An experimental method to quantitatively analyse the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall. *Energy and Buildings*, **150** (2017) 132–148. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.068>.
60. N. H. Wong, A. Y. Kwang Tan, P. Y. Tan, K. Chiang, & N. C. Wong, Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, **45** (2010) 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.017>.
61. X. Zhang, L. Shen, V. W. Y. Tam, & W. W. Y. Lee, Barriers to implement extensive green roof systems: A Hong Kong study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16** (2012) 314–319. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.157>.
62. G. Pérez & J. Coma, *Green roofs classifications, plant species, substrates* (2018). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00006-9>.
63. J. Coma, G. Pérez, C. Solé, A. Castell, & L. F. Cabeza, Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable Energy*, **85** (2016) 1106–1115. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.074>.
64. T. Sangkakool & K. Techato, Environmental Benefits of Air Plant Green Roofs in Hot and Humid Climate. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, **12** (2017) 6939–6946. <https://doi.org/10.3923/jeasci.2017.6939.6946>.
65. M. Karteris, I. Theodoridou, G. Mallinis, E. Tsiros, & A. Karteris, Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data. *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews*, **58** (2016) 510–525.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.098>.
66. C. Y. Jim, Green roof evolution through exemplars: Germinal prototypes to modern variants. *Sustainable Cities and Society*, **35** (2017) 69–82.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.001>.
 67. Cubierta ajardinada intensiva – PACHECO ASESORAMIENTO Y MANTENIMIENTO, S.L. (n.d.). <https://www.pachecoam.com/site1/tag/cubierta-ajardinada-intensiva/> (accessed August 23, 2021).
 68. M. D. Lalošević, M. S. Komatina, M. V Miloš, & N. R. Rudonja, Green Roofs and Cool Materials As Retrofitting Strategies for. **22** (2018) 2309–2324.
 69. L. L. H. Peng & C. Y. Jim, Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. *Energies*, **6** (2013) 598–618.
<https://doi.org/10.3390/en6020598>.
 70. Urban Espora, ESPORA - Instalación de cubiertas verdes y jardines verticales. (n.d.). <https://www.urbanespora.es/> (accessed August 24, 2021).
 71. Cubiertas vegetales - Sempergreen: líder del mercado de tepes vegetales para cubiertas de sedum - Sempergreen. (n.d.). <https://www.sempergreen.com/es/soluciones/cubiertas-vegetales> (accessed August 24, 2021).
 72. ZinCo, Sistemas para cubiertas verdes intensivas G U Í A D E P L A N I F I C A C I Ó N. (2020).
 73. W. Nyuk Hien, T. Puay Yok, & C. Yu, Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. *Building and Environment*, **42** (2007) 25–54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.030>.
 74. National Parks Board (NParks). (n.d.). <https://www.nparks.gov.sg/> (accessed February 9, 2021).
 75. R. Castiglia Feitosa & S. J. Wilkinson, Attenuating heat stress through green roof and green wall retrofit. *Building and Environment*, **140** (2018) 11–22.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.034>.
 76. G. Battista, E. M. Pastore, L. Mauri, & C. Basilicata, Green Roof Effects in a Case Study of Rome (Italy). *Energy Procedia*, **101** (2016) 1058–1063.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.134>.
 77. A. Fikfak, K. Lavtižar, J. P. Grom, S. Kosanović, & M. Zbašnik-Senegačnik, Study of urban greenery models to prevent overheating of parked vehicles in P + R facilities in Ljubljana, Slovenia. *Sustainability (Switzerland)*, **12** (2020) 1–18.
<https://doi.org/10.3390/su12125160>.
 78. A. López & J. Recaño, The comeback of the central city in Southern Europe: population growth and sociodemographic change in the Spanish urban cores. *Extended Abstract Prepared for the European Population Conference 2010*, (2010).

79. S. S. Herrera-Gomez, A. Quevedo-Nolasco, & L. Pérez-Urrestarazu, The role of green roofs in climate change mitigation. A case study in Seville (Spain). *Building and Environment*, **123** (2017) 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.036>.
80. R. Caro-Martínez & J. J. Sendra, Implementation of urban building energy modeling in historic districts. Seville as case-study. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, **13** (2018) 528–540. <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N4-528-540>.
81. S. Moreno-Tejera, M. A. Silva-Pérez, I. Lillo-Bravo, & L. Ramírez-Santigosa, Solar resource assessment in Seville, Spain. Statistical characterisation of solar radiation at different time resolutions. *Solar Energy*, **132** (2016) 430–441. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.032>.
82. Te descubrimos el jardín oculto en el techo de Torre Sevilla. (n.d.). https://www.diariodesevilla.es/vivirenvilla/jardin-techo-Centro-Comercial-Torre-Sevilla_3_1570972892.html (accessed August 28, 2021).
83. Techos verdes y jardines verticales en la nueva Plaza de Armas de Sevilla | Terapia Urbana. (n.d.). <https://www.terapiaurbana.es/project/techos-verdes-y-jardines-verticales-en-plaza-de-arms-sevilla/> (accessed August 28, 2021).
84. Techos verdes y jardines verticales en la nueva Plaza de Armas de Sevilla | Terapia Urbana. (n.d.). <https://www.terapiaurbana.es/project/techos-verdes-y-jardines-verticales-en-plaza-de-arms-sevilla/> (accessed September 12, 2021).
85. S. Domínguez-Amarillo, J. J. Sendra, & J. Fernández-Agüera, *La construcción de la vivienda social en Sevilla y su catalogación 1939-1979* (Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla, 2017).
86. Isidro Cortés Albalá & R. Lucas Ruiz, La arquitectura del barrio de los Remedios de Sevilla. (2009).
87. Español — IPCC. (n.d.). <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/> (accessed February 9, 2021).
88. About WRI & WBCSD | Greenhouse Gas Protocol. (n.d.). <https://ghgprotocol.org/about-wri-wbcd> (accessed September 11, 2021).
89. T. Žaucer & Ostali, P+R; Lokacija, oblikovanje, oprema. (2014).
90. H. E. Beck, N. E. Zimmermann, T. R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg, & E. F. Wood, Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data* **2018 5:1**, **5** (2018) 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>.
91. CTE; ROCKWOOL, El potencial del ahorro de energía y reducción de emisiones de CO₂ en viviendas mediante incremento del aislamiento España 2005-2012. (2005).
92. E. Rodríguez & J. M. Gutiérrez, Escenarios PNACC 2017: Nueva colección de escenarios de cambio climático regionalizados del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). *Aemet*, **0** (2018) 1–17.
93. M. para la transición ecológica y el reto Demográfico, *Plan Nacional de adaptación al*

cambio climático 2021-2030 (2020).

94. N. L. Alchapar, E. N. Correa, & M. A. Cantón, Influencia del envejecimiento de los materiales en su desempeño térmico. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, **33** (2013) 282–291.
95. Emisividad - Wikipedia, la enciclopedia libre. (n.d.).
<https://es.wikipedia.org/wiki/Emisividad> (accessed September 8, 2021).
96. Conductividad térmica - Wikipedia, la enciclopedia libre. (n.d.).
https://es.wikipedia.org/wiki/Conductividad_térmica (accessed September 12, 2021).
97. Transmitancia - Wikipedia, la enciclopedia libre. (n.d.).
<https://es.wikipedia.org/wiki/Transmitancia> (accessed September 12, 2021).

7.1 REFERENCIAS DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de trabajo, Fuente: Elaboración propia	11
Figura 2. La influencia humana en el calentamiento global. Fuente: IPCC, 2021	14
Figura 3. Temperaturas máximas registradas en materiales. Fuente: Torres Convers, 2018. 15	
Figura 4. Isla de calor urbano. Fuente: J. K. W. Wong & L. S. K. Lau, 2013.....	16
Figura 5. Clasificación de los sistemas vegetales en edificaciones. Fuente: L. Pan & L. M. Chu, 2016	19
Figura 6. Instalación de cubierta vegetal. Antes y después. Fuente: W. Nyuk Hien, T. Puay Yok, & C. Yu, 2007	40
Figura 7. Comparaciones térmicas en cubierta. Fuente: W. Nyuk Hien, T. Puay Yok, & C. Yu, 2007	41
Figura 8. Comparaciones de temperatura de superficie. Fuente: W. Nyuk Hien, T. Puay Yok, & C. Yu, 2007.....	42
Figura 9. Simulación de sistemas vegetales en Rio de Janeiro y Sídney. Fuente: R. Castiglia Feitosa & S. J. Wilkinson, 2018	43
Figura 10. Modelo ENVI-met desarrollado para el caso 3, en Roma. Fuente: G. Battista, E. M. Pastore, L. Mauri, & C. Basilicata , 2016	44
Figura 11. Localización de los receptores en el modelo 3D. Fuente: G. Battista, E. M. Pastore, L. Mauri, & C. Basilicata , 2016	45
Figura 12. Temperatura del aire vertical en el punto R en diferente horario. Fuente: G. Battista, E. M. Pastore, L. Mauri, & C. Basilicata , 2016	45
Figura 13. Localización del P + R en Ljubljana L1 y L2. Fuente: A. Fikfak, K. Lavtižar, J. P. Grom, S. Kosanović, & M. Zbašnik-Senegačnik, 2020.....	46
Figura 14. Ljubljana. Isla de calor urbana. L1 Barje, L2 Trnovo. Fuente: A. Fikfak, K. Lavtižar, J. P. Grom, S. Kosanović, & M. Zbašnik-Senegačnik, 2020.....	47
Figura 15. Modelación de reverdecimiento urbano en L1 Barje. Fuente: A. Fikfak, K. Lavtižar, J. P. Grom, S. Kosanović, & M. Zbašnik-Senegačnik, 2020.....	48
Figura 16. Imágenes satelitales con sus delimitaciones en Belgrado. Fuente: M. D. Lalošević, M. S. Komatina, M. V Miloš, & N. R. Rudonja, 2018	49
Figura 17. Modela 3D, realizado en ENVI-met. Fuente: M. D. Lalošević, M. S. Komatina, M. V Miloš, & N. R. Rudonja , 2018	50
Figura 18. Resultados de la temperatura ambiente con las variaciones en cubierta. Fuente: M. D. Lalošević, M. S. Komatina, M. V Miloš, & N. R. Rudonja, 2018.....	51
Figura 19. Zonas climáticas por provincias en España. Fuente: CTE, 2021	54
Figura 20. Sevilla Tabla Climática, Fuente: CLIMATE-DATA.ORG, 2021.	55
Figura 21. Sevilla Climograma, Fuente: CLIMATE-DATA.ORG, 2021.	55
Figura 22. Visor de escenario de cambio climático a corto plazo, Fuente: AdapteCCa, 2021. http://escenarios.adaptecca.es/	56
Figura 23. Visor de escenario de cambio climático a mediano plazo, Fuente: AdapteCCa, 2021. http://escenarios.adaptecca.es/	57
Figura 24. Visor de escenario de cambio climático a largo plazo, Fuente: AdapteCCa, 2021. http://escenarios.adaptecca.es/	57

Figura 25. Escenarios AdapteCCA, Temperatura máxima. Fuente: AdapteCCa, 2021.
<http://escenarios.adaptecca.es>58

Figura 26. Planta de cubiertas tipo "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014
 71

Figura 27. Fachada Oriente-Occidente tipo "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA
 I+D+i, 2014 72

Figura 28. Planta tipo "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014..... 72

Figura 29. Planta tipo A "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014 73

Figura 30. Planta tipo B "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014 73

Figura 31. Fachada Norte-Sur tipo "Remedios el Viejo". Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014.
 73

Figura 32. Detalle encuentro fachada con cubierta. Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014. 74

Figura 33. Detalle por hueco de fachada. Fuente: RePROGRAMA I+D+i, 2014. 74

Figura 34. Cartografía Catastral "Remedios el Viejo". Fuente: Sede electrónica de Catastro,
 2021 75

7.2 REFERENCIAS DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas vegetales verticales, desarrollo e implementación. Fuente: Elaboración propia bajo los referentes [52] [57] [60]	21
Tabla 2. Componentes generales de una cubierta vegetal. Fuente: A. B. Besir & E. Cuce, 2018 bajo la referente [13].	24
Tabla 3. Sistemas vegetales horizontales, desarrollo e implementación. Fuente: Elaboración propia bajo las referentes [45] [68] [69].....	26
Tabla 4. Tipo de cubierta de acuerdo con la vegetación. Fuente: Elaboración propia bajo la referente [70].....	29
Tabla 5. Empresas en España que implementan cubiertas vegetales. Fuente: Elaboración propia bajo las referentes [44] [71] [72] [70]	30
Tabla 6. Cuadro comparativo de cubiertas vegetales en España. Fuente: Elaboración propia bajo las referentes [70] [71] [44]	39
Tabla 7. Resultados del estudio en Rio de Janeiro. Fuente: R. Castiglia Feitosa & S. J. Wilkinson, 2018	43
Tabla 8. Resultados del estudio en Sídney. Fuente: R. Castiglia Feitosa & S. J. Wilkinson, 2018	43
Tabla 9. Beneficios directos e indirectos de las cubiertas vegetales. Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 10. Proyección de escenarios de cambio climático en España. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de Adaptecca.es	56
Tabla 11. LIPASAM. Ficha técnica. Fuente: Elaboración propia bajo el referente de [81]	59
Tabla 12. Torre de Sevilla. Ficha técnica. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de [81]. Fotografía: José Ángel García	61
Tabla 13. Nueva plaza de armas. Ficha técnica. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de [84]. Fotografía: Terapia Urbana	63
Tabla 14. Centro comercial La Lagoh. Ficha técnica. Fuente: Elaboración propia. Fotografía: propia	65
Tabla 15. Vivienda social en Sevilla. Fichas técnicas. Fuente: Elaboración propia bajo las referentes [85] [86].....	67
Tabla 16. Ficha técnica "Remedios el viejo". Fuente: Elaboración propia bajo la referente [86]	69
Tabla 17. Detalles constructivos cubierta vegetal. Sistema Rizoma. Fuente: Elaboración propia bajo la referente [25].....	77
Tabla 18. Simulaciones Envi-MET. Fuente: Elaboración propia.....	79
Tabla 19. Materiales empleados en la simulación y las características térmicas a emplear. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de ENVI-met 4.4.6, 2021.	80
Tabla 20. Sistemas vegetales empleados en la simulación y las características térmicas a emplear. Fuente: Elaboración propia bajo la referente de ENVI-met 4.46, 2021.....	80
Tabla 21. Configuración de ENVIGUIDE.	81
Tabla 22. Información de entrada y modelado geométrico, Modelo 001- 004 (Escenario 1). Fuente: Elaboración propia.....	82

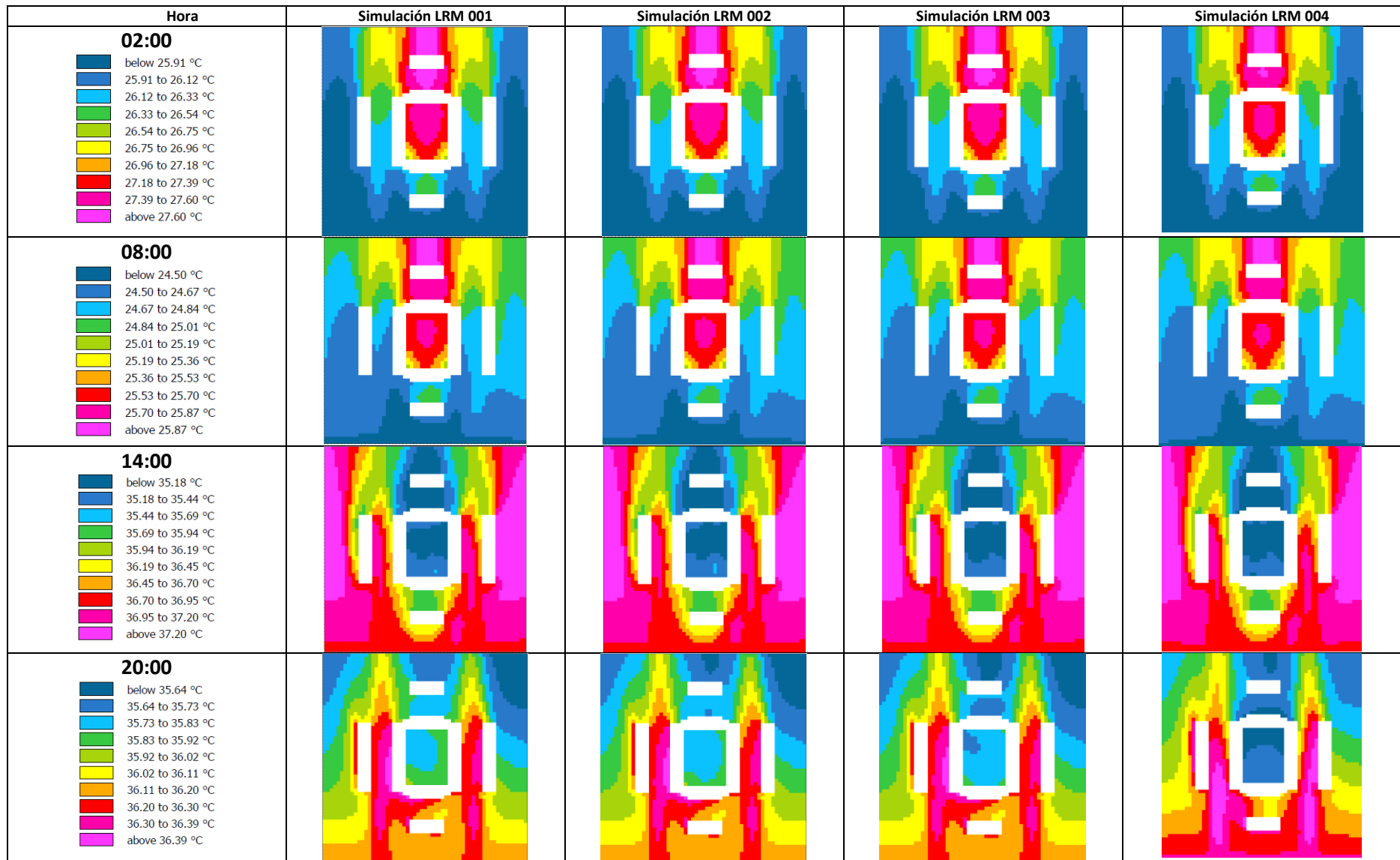
Tabla 23. Información de entrada y modelado geométrico, Modelo 005 – 008 (Escenario 2). Fuente: Elaboración propia.....	84
Tabla 24. Localización punto 1 en escenario 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.....	86
Tabla 25. Promedio de la temperatura potencial en el aire (T) LRM 1 – LRM 4, k:4.	87
Tabla 26. Promedio de la temperatura potencial en el aire (T) LRM 5 – LRM 8, k:4.	87
Tabla 27. Promedio de la temperatura potencial en el aire (T) LRM 1 – LRM 4, k:9.	87
Tabla 28. Promedio de la temperatura potencial en el aire (T) LRM 5 – LRM 8, k:9.	88
Tabla 29. Humedad relativa (q) LRM 1 – LRM 4, k:4.	88
Tabla 30. Humedad relativa (q) LRM 5 – LRM 8, k:4.....	88
Tabla 31. Humedad relativa (q) LRM 1 – LRM 4, k:9.	89
Tabla 32. Humedad relativa (q) LRM 5 – LRM 8, k:9.	89
Tabla 33. LRM 1 - LRM 8, diferencia de temperatura ambiente (k=4).....	90
Tabla 34. LRM 1 - LRM 8, diferencia de temperatura ambiente (k=9).....	94
Tabla 35. LRM 1 - LRM 8, diferencia de humedad relativa (k=4).....	98
Tabla 36. LRM 1 - LRM 8, diferencia de humedad relativa (k=9).....	102
Tabla 37. Reducciones presentadas en la temperatura ambiente (t), altura k:4.....	106
Tabla 38. Reducciones presentadas en la temperatura ambiente (t), altura k:9.....	106
Tabla 39. Aumento en la humedad relativa (q), altura k:4.....	107
Tabla 40 . Aumento en la humedad relativa (q), altura k:9.....	107
Tabla 41. Simulación Escenario 1 (T), altura k=4	128
Tabla 42. Simulación Escenario 1 (T), altura k=9	129
Tabla 43. Simulación Escenario 1 (q), altura k=4	130
Tabla 44.. Simulación Escenario 1 (q), altura k=9	131
Tabla 45. Simulación Escenario 2 (T), altura k=4	132
Tabla 46. Simulación Escenario 2 (T), altura k=9	133
Tabla 47. Simulación Escenario 2 (q), altura k=4	134
Tabla 48. Simulación Escenario 2 (q), altura k=9	135

8. ANEXOS

8. ANEXOS

A continuación, se presentan las tablas 41 a la 48, donde se encuentran los resultados obtenidos en el programa ENVI-met, estos abarcan la información de las simulaciones realizadas en los 8 casos realizados (LRM 001, LRM 002, LRM 003, LRM 004, LRM 005, LRM 006, LRM 007 y LRM 008). En los cuatro horarios recopilados (02:00, 08:00, 14:00 y 20:00). Bajo las dos alturas analizadas k:4 (altura del peatón) y k:9 (altura de la cubierta).

Tabla 41. Simulación Escenario 1 (T), altura k=4



ESTRATEGIAS DE AMORTIGUACIÓN TÉRMICA BASADAS EN SISTEMAS VEGETALES

Tabla 42. Simulación Escenario 1 (T), altura k=9

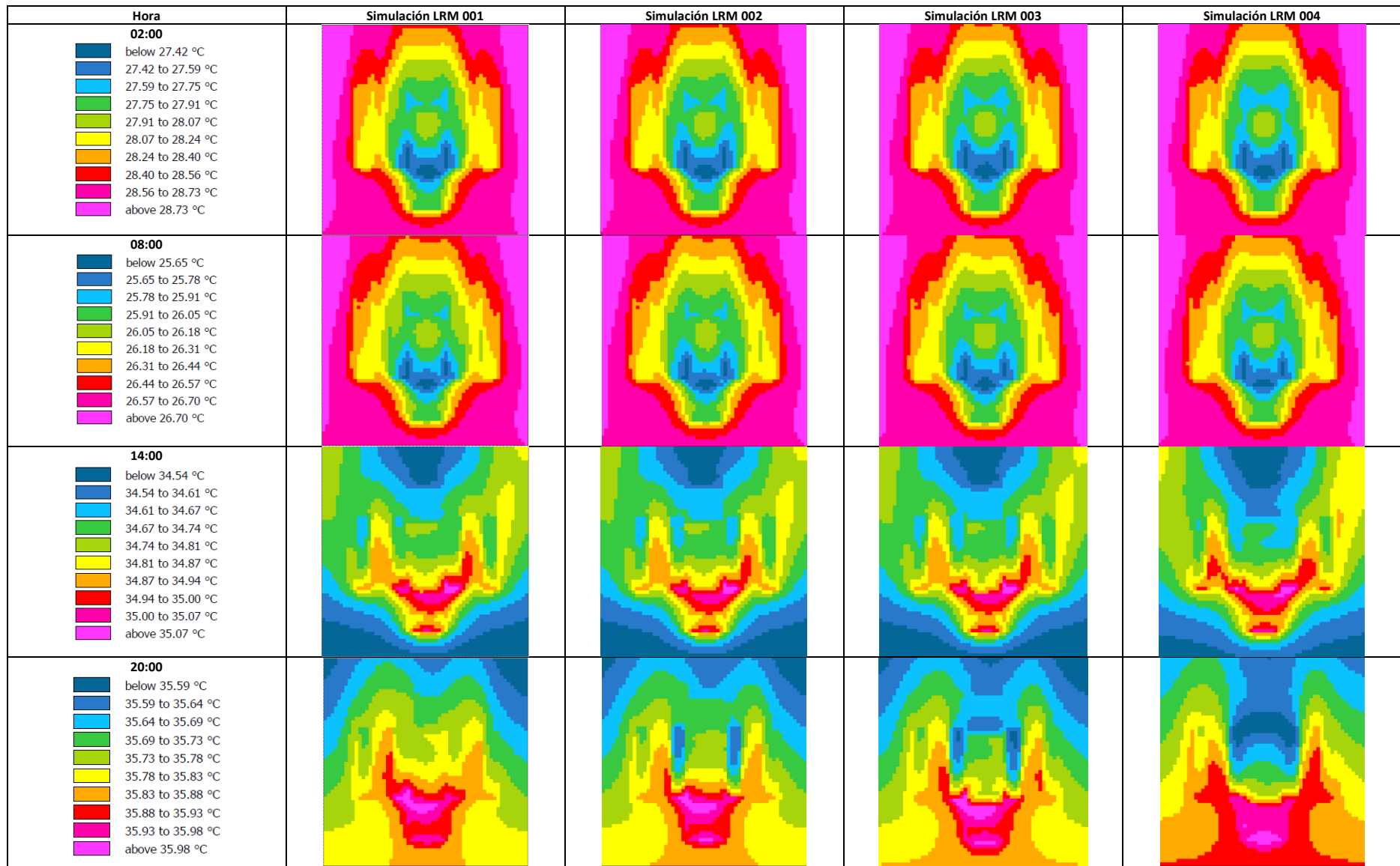
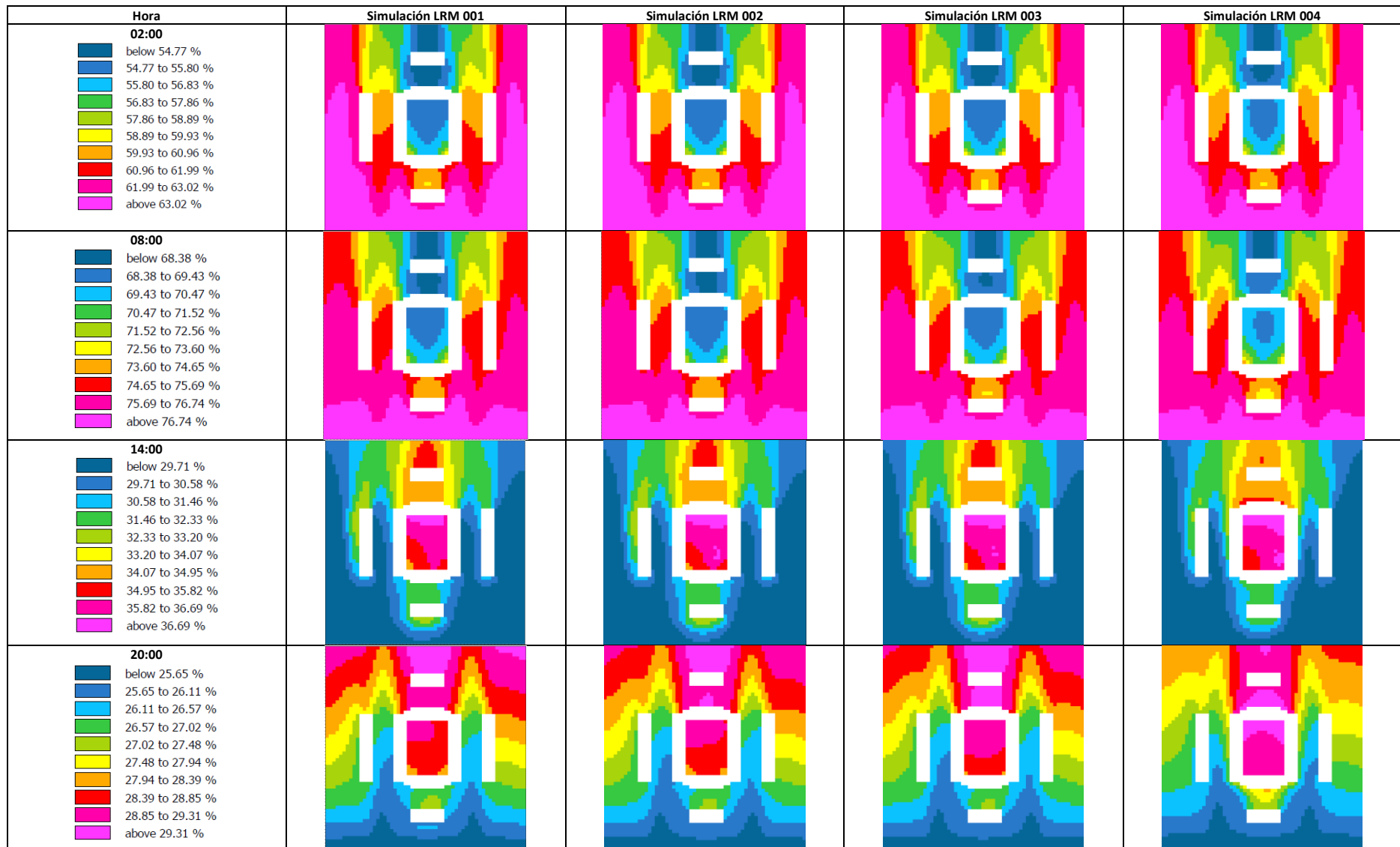


Tabla 43. Simulación Escenario 1 (q), altura k=4



ESTRATEGIAS DE AMORTIGUACIÓN TÉRMICA BASADAS EN SISTEMAS VEGETALES

Tabla 44.. Simulación Escenario 1 (q), altura k=9

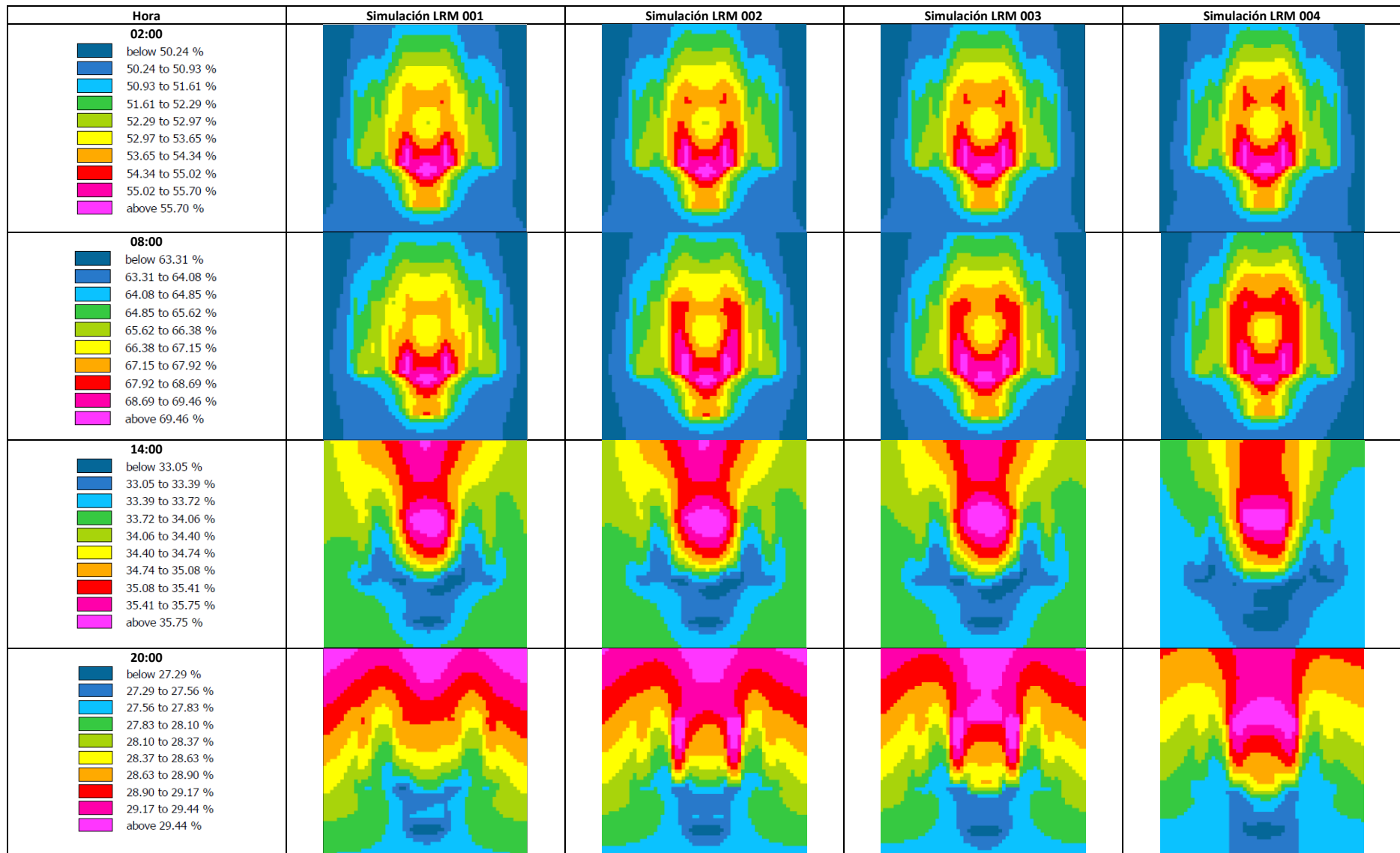
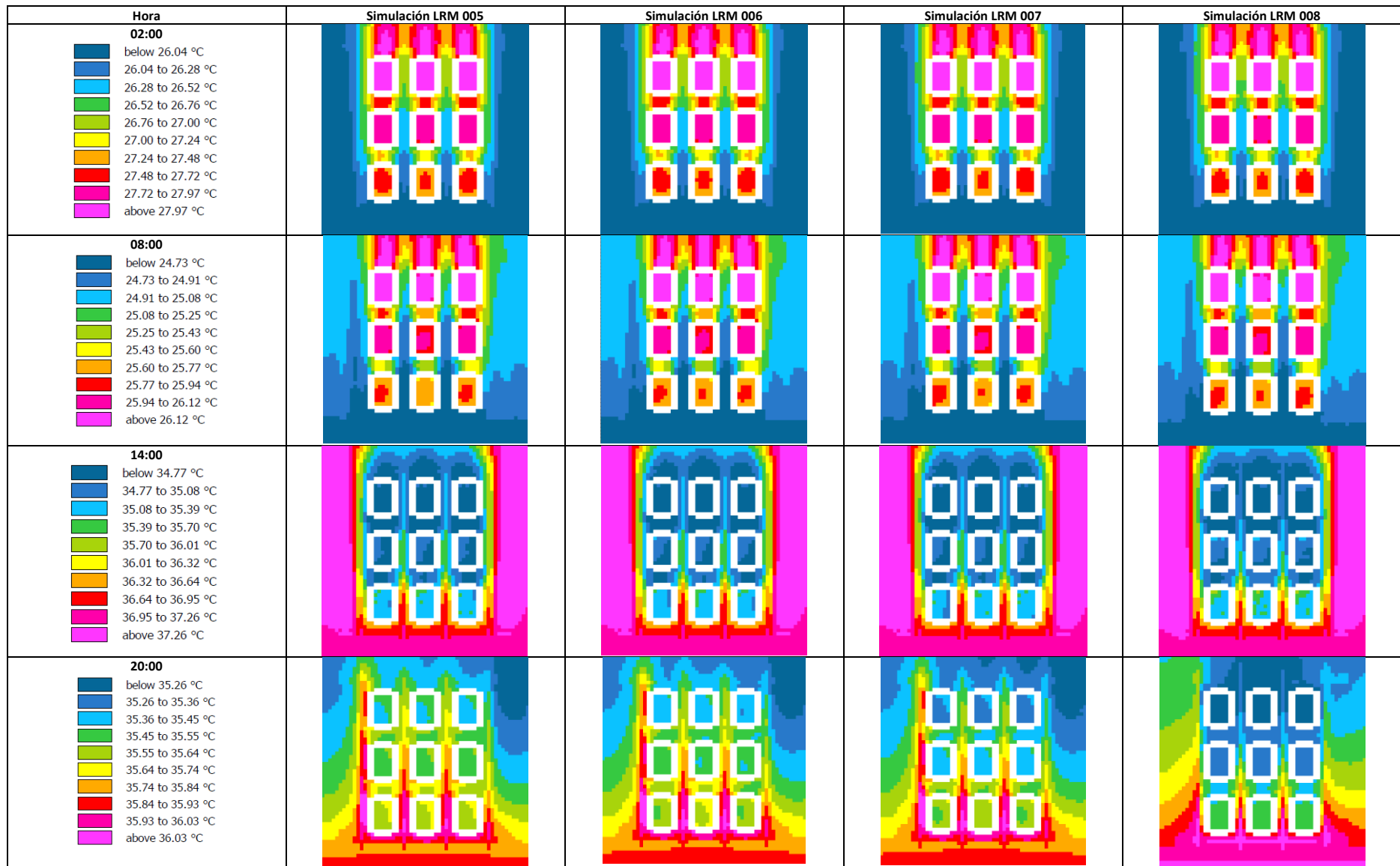


Tabla 45. Simulación Escenario 2 (T), altura k=4



ESTRATEGIAS DE AMORTIGUACIÓN TÉRMICA BASADAS EN SISTEMAS VEGETALES

Tabla 46. Simulación Escenario 2 (T), altura k=9

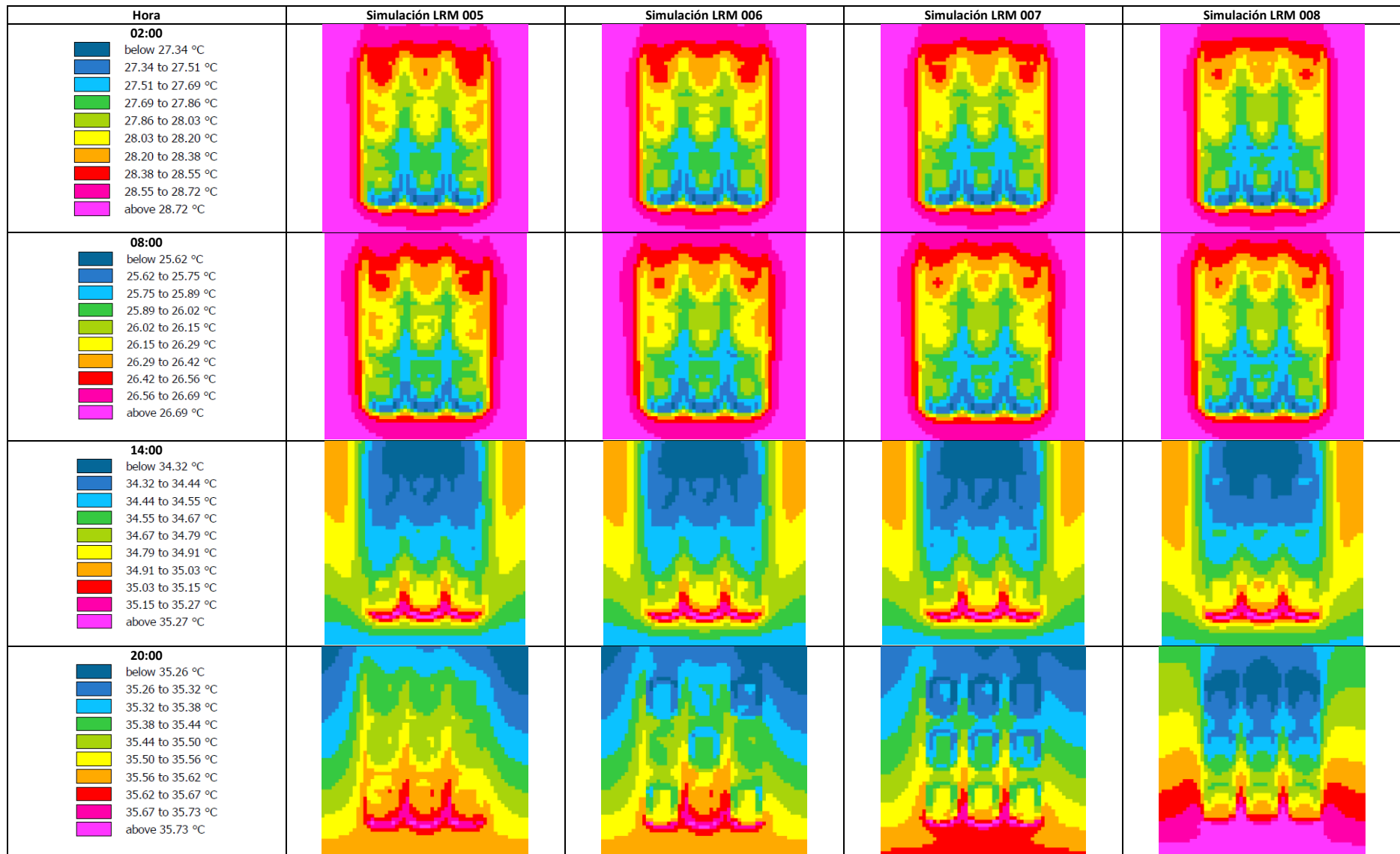


Tabla 47. Simulación Escenario 2 (q), altura k=4

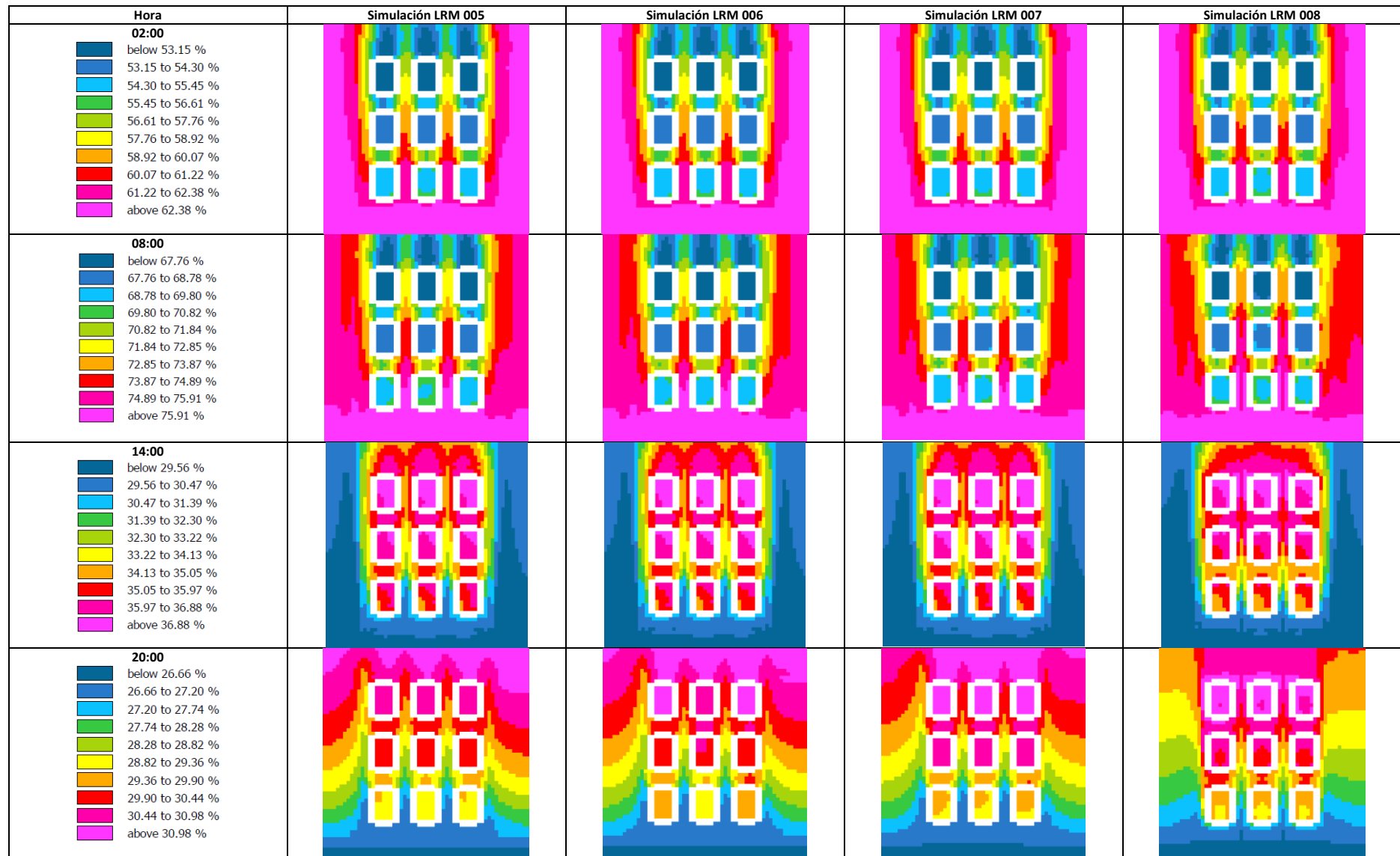


Tabla 48. Simulación Escenario 2 (q), altura k=9

