

# SERVICIOS DE REGULACIÓN CLIMÁTICA APORTADOS POR LA VEGETACIÓN URBANA A LA CIUDAD DE CÓRDOBA

## 1ª PARTE: FUNDAMENTOS Y METODOLOGÍA

### ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

BASADO EN LOS ESCENARIOS LOCALES DE CAMBIO CLIMÁTICO DE ANDALUCÍA  
ACTUALIZADOS AL 4º Y 5º INFORME DEL IPCC



BORRADOR

BORRADOR

BORRADOR

# SERVICIOS DE REGULACIÓN CLIMÁTICA APORTADOS POR LA VEGETACIÓN URBANA A LA CIUDAD DE CÓRDOBA

1ª PARTE: FUNDAMENTOS Y METODOLOGÍA.



JUNTA DE ANDALUCÍA

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

**Rediam**●●●

Enero de 2016

EDITA:

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía

Es un producto de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)

COORDINACIÓN:

Francisco Caceres Clavero  
Fernando Giménez de Azcarate  
José Manuel Moreira Madueño

REDACCIÓN:

Juan José Guerrero Álvarez

COLABORADORES:

Daniel Laguna Ruiz  
Fernando Sanz Clavijo  
Xavier Marzo Artigas

Los modelos de circulación general utilizados en este trabajo corresponden a los empleados por el IPCC en su 4º y 5º Informe de Evaluación del Cambio Climático.

Los cálculos con los modelos de circulación global y los procesos de downscaling de temperaturas y precipitaciones han sido desarrollados con la colaboración de la Fundación para la Investigación del Clima, asociada a la REDIAM.

El desarrollo de los modelos para la determinación del resto de variables y su cálculo ha corrido a cargo del equipo técnico de la REDIAM, así como el diseño, desarrollo y elaboración de los escenarios regionales de cambio climático en el marco de lo previsto en Programa de Andaluz de Adaptación al Cambio Climático.

Impresión:

Parte de la elaboración de este trabajo se ha desarrollado en el marco de los proyectos Adaptaclima I y Adaptaclima II, dentro de programa de cooperación territorial europea SUDOE, bajo la cofinanciación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

[www.juntadeandalucia.es/medioambiente](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente)

## ÍNDICE

0.	Resumen.....	9
1.	Introducción y planteamiento.....	9
2.	Objetivos.....	15
3.	Antecedentes .....	17
3.1	Importancia del clima local de una ciudad .....	17
3.2	Influencia de las plantas en el clima local: El “efecto oasis” .....	19
3.3	El Clima de Córdoba en la actualidad .....	25
3.4	El Clima de Córdoba durante el Siglo XXI.....	28
3.5	Clima, energía y cambio climático .....	32
3.6	Perspectiva historia del jardín occidental y el clima .....	34
3.7	Análisis del jardín medieval de <i>al-Ándalus</i> .....	38
3.8	El Patio Cordobés .....	42
4.	Metodología.....	43
4.1	Introducción .....	43
4.2	Modelos urbanos microclimáticos.....	45
4.2.1	Variables determinantes del microclima urbano.....	45
4.2.2	Clasificación y nomenclatura .....	49
4.2.3	Descripción de los modelos urbanos microclimáticos .....	50
4.3	Diseño espacial de la Red de Sensores Meteorológicos .....	53
4.4	Diseño Instrumental de la Red de Sensores Meteorológicos.....	55
4.5	Difusión Web .....	58
4.6	Conclusión a la primera parte .....	58
5.	Anexos .....	59
5.1	El Clima de Andalucía del Siglo XXI .....	59
5.1.1	El Clima a finales del siglo XX.....	59
5.1.2	Evolución del Clima en el siglo XXI .....	60
5.1.3	Resultados Generales .....	61
5.1.4	Evolución de los grupos Climáticos.....	63
5.2	Glosario de Ornamentales de árboles y arbustos de especies de <i>al-Ándalus</i> .....	66
5.3	Criterios de localización de emplazamientos e instalación de sensores meteorológicos .....	82
5.4	CARTOGRAFÍA .....	86

BORRADOR



## 0. Resumen

Este proyecto tiene como objetivo estudiar los servicios de regulación climática que la vegetación aporta al ciudadano en ambientes urbanos como la Capital de Córdoba, así como contribuir a la divulgación de su valor. Existe cierto margen para modificar el clima general de un espacio abierto para transformarlo en un microclima más o menos acorde al estándar óptimo de confort. El manejo de la vegetación es uno de los instrumentos más potentes y conocidos desde la antigüedad. Las plantas, y sobre todo los árboles, son valorados por la función protectora que ejercen al captar la radiación directa del sol. Sin embargo, la proyección de sombras es una parte muy reducida de los bienes que pueden aportar las plantas al clima urbano. Esto se debe a que para poder realizar correctamente la función fotosintética, gran parte de las plantas en zonas cálidas requieren refrigerar sus hojas recalentadas al sol mediante la "transpiración estomática". De este hecho se beneficia el clima local de las zonas próximas a jardines o bosques con agua disponible, ya que se trata de un fenómeno capaz de evacuar grandes cantidades de energía solar, que de otra manera se convertirían en calor, aumentando la temperatura ambiental. Para poder cuantificar este efecto, este proyecto realiza una aproximación entre los resultados esperados desde el punto de vista teórico y los obtenidos por la medición directa en diferentes puntos de la ciudad de Córdoba, mediante la creación de una red de estaciones meteorológicas. Los resultados obtenidos serán así mismo analizados desde diferentes ópticas en lo que respecta al diseño, planificación y gestión del sistema urbano, y como este puede afectar a los diferentes sectores de la ciudad como movilidad, salud, turismo, empresas, etc. en el contexto de adaptación al cambio climático y reconversión energética.

## 1. Introducción y planteamiento

<<He abrazado el sicomoro y el sicomoro me ha protegido; las puertas de la Duat me han sido abiertas...>>. Capítulo 64 del Libro de los Muertos, Antiguo Egipto.



Ilustración 2. Nut arbórea en el techo de la tumba de Sennedjem.

La tumba de Sennedjem contenía un notable ajuar funerario y en sus muros se conservaban magníficas pinturas. En uno de estos espacios se localiza una imagen que muestra a Sennedjem y a su esposa Ineferti ante una llamativa imagen de Nut arbórea. Los antiguos egipcios rindieron adoración a diversos árboles y el arte mostró con frecuencia a divinidades en estrecha relación con ellos. No obstante, a nivel iconográfico fueron determinadas diosas las que más estrechamente se unieron a estos seres vegetales (Hathor, Isis, Nut, Imentet...) especialmente con el sicomoro, dando lugar a una imaginería en la que lo arbóreo y el cuerpo femenino se funden de manera sorprendente.

Los pobladores del antiguo Egipto veneraban muchos de los árboles que crecían en sus ciudades, entre ellos el sicomoro, una especie de ficus o higuera de gran porte, al que le otorgaban la divinidad de la diosa Nut, creadora del cielo, los astros y del resto de dioses. El sicomoro era más que un símbolo representativo de la madre del universo, era la diosa en sí, y su sombra amable les proporcionaba una agradable protección comparable a la de estar en el seno materno -<<¡Oh sicomoro de Nut, dame el agua y la brisa que hay en ti!>> del mismo libro-, sensación muy real si se tiene en cuenta el clima tórrido y severo en el que vivían. Otras muchas utilidades materiales son las que proporcionaba esta y otras especies de árboles, sin embargo, para los antiguos egipcios, una civilización que perduró durante más de 3.000 años en un entorno desértico, solo estar a su lado representaba la mayor de las experiencias, hasta el punto de que según su religión, abrazarlos era la última de las pruebas que debían superar antes de cruzar las puertas hacia la eternidad.



Ilustración 1. Árbol y agua. Autor: Enrique Touriño Marcén

Las plantas son desde el inicio de las primeras civilizaciones un elemento usual en la configuración del sistema urbano. Mientras que en el ámbito rural, la agricultura las adoptó con fines clara y puramente materialistas, el urbanismo las incorporó con otros fines algo más difusos y difíciles de cuantificar, como estéticos y sensoriales, artísticos, culturales e incluso espirituales, o sencillamente porque crecían de manera espontánea. Hoy en día, en lugares como Córdoba, una ciudad donde los elementos verdes tienen un importante lugar en el espacio urbano, la sensación generalizada entre el ciudadano es que las plantas y jardines mejoran la calidad y habitabilidad de los pueblos y ciudades. Sin embargo, existe cierta confusión e incluso desconocimiento a la hora de concretar cuáles son dichos beneficios, hasta el punto de quedar en ocasiones sepultados por sus propias desventajas.

Existe más de una razón por la que podemos justificar la presencia de árboles en calles, todo tipo de vegetales en jardines públicos y privados, o plantas en las macetas de nuestro patio. Casi todo el mundo estaría de acuerdo que hacen más bellos nuestros pueblos y ciudades, y dan sombra a calles y espacios donde estar, caminar o hacer deporte. Por otra parte, en las ciudades modernas, los elementos vegetales han adquirido nuevas funciones, sobre todo las relacionadas con la disminución de la contaminación, aunque no siempre están

exentos de problemas, en ocasiones muy mediatizados y controvertidos. Mantener arbolado y jardines supone un coste importante para la administración local, tanto en recursos humanos como materiales, entrando los requerimientos hídricos en competencia con otras necesidades de la ciudad o agricultura. Las plantas son elementos vivos, no siempre previsible, cuyas raíces en ocasiones dañan aceras, tuberías y edificios, provocan accidentes por caída de ramas, alergias respiratorias y cutáneas, apantallan la vista a edificios singulares y paisajes urbanos y atraen a todo tipo de insectos y pájaros.

En resumen, existe una valoración vaga sobre el papel positivo de las plantas en los núcleos de población, más en el ámbito espiritual que en el material, difícil de cuantificar y envuelto en el intangible y ajado concepto de sostenibilidad, y sin embargo, una idea muy clara sobre las desventajas y gastos que suponen (más de 2.700.000 euros en 2014 en la ciudad de Córdoba). Un escenario de este tipo donde la banalidad de las zonas verdes cobra fuerza, es sumamente peligroso, ya que orienta a las administraciones locales a disminuir los esfuerzos dedicados a su promoción y mantenimiento. En ciudades como Córdoba, este problema cobra una dimensión crítica, ya que su clima está caracterizado por un tórrido periodo estival cada año más amplio, que trae como consecuencia a una inhabilitación de la ciudad, solo superable con un alto coste en recursos energéticos. Este problema se ha interiorizado al nivel urbano de vivienda con la búsqueda de la eficiencia energética en edificios, basada en los nuevos materiales y diseños de construcción. Sin embargo, el salto al sistema urbano se está realizando con cierta reticencia, entendiendo que este es un problema donde cada ciudadano debe arreglárselas por sí mismo, que poco se puede hacer en el espacio abierto para tener una ciudad menos severa y que los sectores que se desenvuelven en el espacio público, tales como la movilidad y turismo, son víctimas colaterales insalvables.

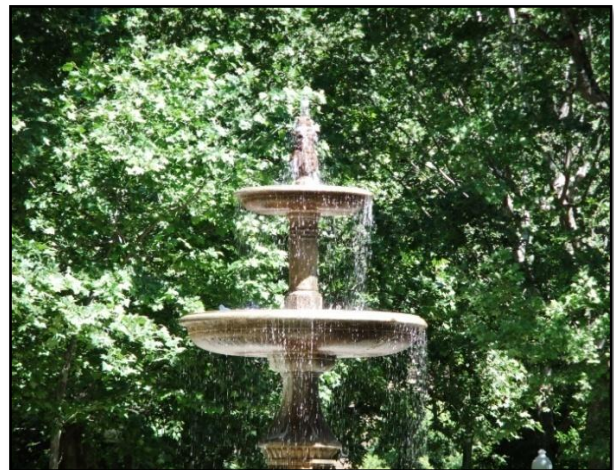


Ilustración 3. Jardines de Colón en Córdoba, también conocidos como Jardines de la Merced, fueron creados a principios del siglo XX y consta de una fuente de estilo modernista, construida en el año 1920. Autor: Juan José Guerrero

Ante este discurso fatalista, la cuestión planteada es si es posible modificar el clima de la ciudad, y si las plantas pueden hacer algo al respecto. La respuesta es sí, y de hecho ya se ha logrado en casi todas las ciudades, aunque precisamente en el sentido contrario al deseado, ya que la progresiva marginación de la vegetación en el sistema urbano ha originado el denominado efecto "isla de calor".

El efecto "isla de calor" consiste en el sobrecalentamiento de las ciudades por encima del entorno más cercano. Las causas son diversas, y depende de las características de la ciudad y condiciones climáticas generales en las que se desenvuelve. Como generalidad, las ciudades se recalientan debido a la incapacidad que tienen para regular la temperatura, tal y como puede ocurrir en un desierto, ineficaz para disipar el flujo de radiación solar en cadenas secundarias de energía que eviten el aumento de la temperatura atmosférica.

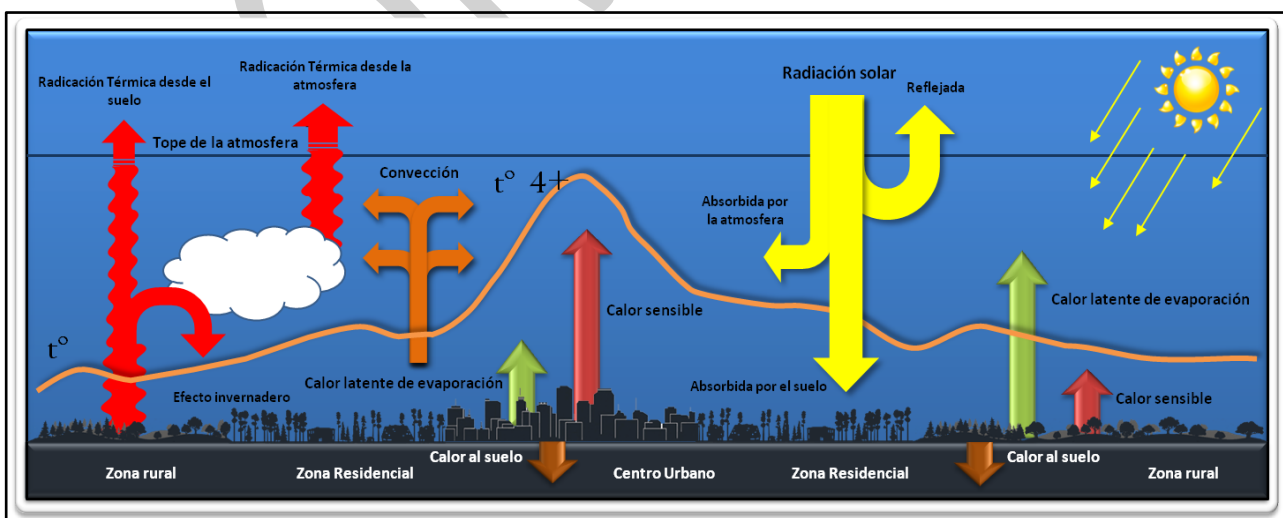


Ilustración 4. Esquema de los flujos de energía en diferentes entornos, desde el urbano al rural. Los sistemas urbanos actuales están frecuentemente basados en materiales impermeables y una escasa presencia de elementos vegetales, lo que desencadena en la desactivación de uno de los procesos más importantes para evacuar la energía sobrante: la evapotranspiración. A este hecho pueden añadirse otra serie de factores que amplifican el efecto isla de calor, como puede ser la falta de convección por estabilidad atmosférica o inversión térmicas.

La evacuación de energía se realiza fundamentalmente por seis procesos (Ilustración 3): la **radiación reflejada**, ligada directamente al **albedo** o capacidad de los materiales a reflejar la radiación solar directa, la **convección** o transferencia de calor a través del movimiento del aire, la **radiación térmica** del suelo y atmósfera que liberaran energía mediante radiación infrarroja, el **flujo de calor hacia el suelo** y el **calor latente de vaporización**, mediante el proceso de evapotranspiración, consistente en la transformación de agua líquida en vapor de agua en la superficie de materiales húmedos, laminas de agua y plantas. Si por alguna razón la evacuación de energía no es suficiente en una zona determinada por estos medios, ésta se acumula en forma de **calor sensible**, lo que da lugar al recalentamiento de la atmósfera.

Para una ciudad, el síndrome de “*isla de calor*” es un grave problema que hace disminuir la calidad de vida de los ciudadanos, reduciendo la eficacia energética de los edificios y competitividad de los sectores económicos. Según la EPA (*Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos*) en los días más calurosos, la temperatura atmosférica puede ser de 2 a 6°C más alta en la ciudad que en sus alrededores<sup>1</sup>.

Este problema del sistema urbano se forma a medida que las ciudades van reemplazando las áreas naturales por edificios y espacios abiertos con materiales como el cemento, asfalto y todo tipo de sellado de la superficie ([Arquitectura dura, plazas inhabitables](#)). Si a ello se añade un bajo **albedo**, la radiación solar es absorbida en su totalidad (baja radiación reflejada), mientras que la que consigue escapar en forma de radiación térmica o reflejada, es nuevamente capturada por la configuración vertical de la ciudad. La contaminación, partículas suspendidas e inversiones térmicas incrementan este tipo especial de efecto invernadero. Finalmente, la impermeabilización de las superficies y escasez de plantas imposibilitan la puesta en marcha de una de las cadenas más eficaces para evacuar energía: la transpiración, y que lo hace a un ritmo de 585 Kcal por cada litro de agua que es consumido en la superficie de la hoja de planta<sup>2</sup> (ver punto 3.2).

<sup>1</sup> [Desarrollo Inteligente e Islas Urbanas de Calor. Más información sobre las islas de calor.](#) Para más información sobre el desarrollo inteligente, ver [www.smartgrowth.org](http://www.smartgrowth.org) y [www.epa.gov/smartgrowth](http://www.epa.gov/smartgrowth). Información adicional sobre la relación entre el medio ambiente y el ambiente urbano puede encontrarse en “*Our Built and Natural Environments: A Technical Review of the Interactions Between Land Use, Transportation, and Environmental Quality.*” EPA 231-R-01-002.

<sup>2</sup> Las plantas retiran de la atmósfera 585 Kcal (a 20°C) de energía por cada litro de agua que transpiran a través de sus hojas, bajando la temperatura del ambiente. Esta es la energía que gastaríamos en una sesión intensa de una hora de “*spinning*”, el calor que deberíamos aportar a cerca de 6 litros de agua a 0°C, para llevarla a 100°C, o la energía que aporta un cuarto de kilo de pan. Para evaporar agua no es necesario llevarla a ebullición, es un proceso que se desencadena con solo poner en contacto la superficie del agua, con una atmósfera seca. Las moléculas de agua atrapan el calor del entorno y se transforma en vapor, enfriando todo lo que está a su alrededor. En termodinámica, este fenómeno se llama “*enfriamiento adiabático*”, y sólo el amoníaco supera en capacidad refrigerante al agua. Es un proceso que depende de muchos factores, los más importantes la temperatura ambiente, velocidad del viento y humedad relativa. Por ejemplo, un ambiente controlado y aislado a 35°C de temperatura y 18% de humedad relativa, es posible

El saber popular reconoce que los árboles son beneficiosos en este aspecto por el hecho de proyectar sombras y detener la radiación en sus hojas, y de aquí el frescor que suele haber en su entorno. Sin embargo, esta apreciación explica solo una pequeña porción de la realidad, ya que a diferencia de un toldo o cualquier otro material inerte que proyecte sombras, la transpiración de las plantas es capaz de evacuar entre el 30% y 70% de la energía que llega del sol<sup>3</sup>, convirtiéndola en calor latente de vaporización y reduciendo la temperatura hasta 10°C en los días cálidos y secos. En este punto, es muy importante entender, que para que este sistema funcione, las plantas necesitan agua, y su eficacia aumenta cuando la atmósfera es seca. Si el suelo se seca esta actividad se ralentiza o incluso paraliza.

Ilustración 5. Las hojas de los árboles son pequeñas industrias productoras de almidón. Para mantener este proceso en funcionamiento necesitan refrigerarse mediante la transpiración estomática. La cantidad de energía que manejan es de tal envergadura que reducen la temperatura de su entorno.



Ilustración 6. [Central Térmica de Puente Nuevo](#) a 45 km de la capital de Córdoba. El combustible utilizado en esta central térmica es el carbón procedente de las minas de Espiel y Peñarroya (hullas y antracita). Consta de 2 equipos de generación con una potencia total de 324 MW. Un bosque de ribera de 100 hectáreas o 50 hectáreas de cultivo de maíz en plena producción son capaces de retirar la misma energía por unidad de tiempo de la atmósfera (Influencia de las plantas en el clima local: El “efecto oasis”. 3.2). Autor: Javier Hernández Gallardo.



enfriarlo a 19.2°C, evaporando agua hasta alcanzar un 90% de humedad relativa.

<sup>3</sup> [Adaptation au changement climatique et optimisation du confort thermique par l'utilisation de recours renouvelables. Association Climatologique de la Moyenne-Garonne et du Sud-Ouest. ACMG](#)

La evapotranspiración es uno de los procesos de intercambio de energía más importantes a nivel planetario. A escala continental, define los grandes climas del mundo, y diferencia a los desiertos de los bosques tropicales, por el mero hecho de que al disponer de agua los segundos, son capaces de reducir la temperatura general de la zona. A escala local, es una de las distinciones más importantes a la hora de definir un ecosistema, mientras que a nivel de especie o individuo es usado como uno de los mecanismos más eficientes de termorregulación. Un solo fresno adulto y sano, es capaz de transpirar 300 litros de agua en un día de verano. Cien hectáreas de bosque sano y maduro de fresno tienen el poder de refrigeración equivalente a la potencia de una central térmica como la de Puente Nuevo de Córdoba (Ilustración 6).

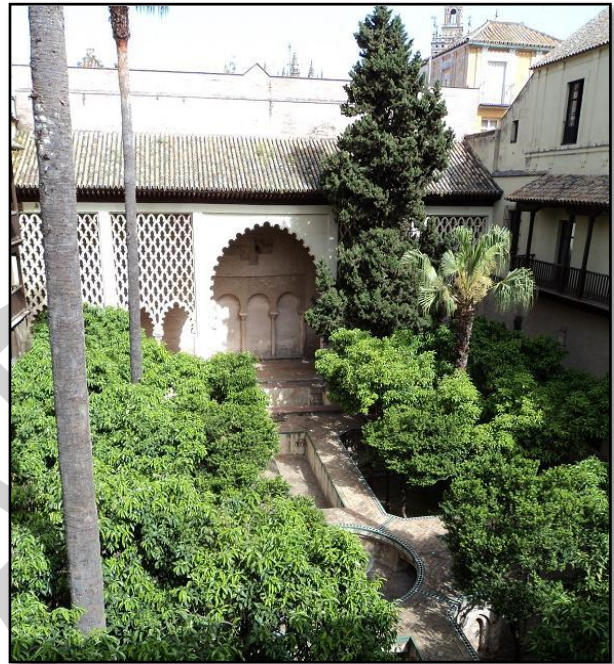


**Ilustración 8.** Para tener una idea del orden de magnitud de lo que son 585 Kcal de energía, como ejemplo se ha usado la equivalencia al gasto calórico de una sesión intensa de ciclismo o "spinning" de una hora. Durante la práctica de este ejercicio, si la temperatura ambiental fuera la misma que la corporal, es decir 37°C, las opciones de termorregulación por convección y conducción se anularían, y solo la transpiración podría hacerse cargo de esta situación crítica. Para evacuar este calor generado en nuestro cuerpo por el ejercicio físico, tendríamos que beber y transpirar aproximadamente 1 litro de agua.

Los animales también usan la transpiración como un mecanismo de refrigeración. La transpiración cutánea es una característica muy singular de la especie humana. No todas las especies animales la poseen. Los perros también transpiran para evacuar el calor corporal o revertir el ambiental, pero en este caso solo lo hacen por la boca (carleo), y otra parte insignificante por sus almohadillas, lo que les hace más ineficientes en zonas calurosas. Para la especie humana, la transpiración cutánea fue un éxito evolutivo, ya que la falta de bello y posición erguida ante la carrera, le permite exponer mucha superficie corporal a la transpiración, logrando recorrer así grandes distancias sin colapsar la termorregulación. La transpiración es tan importante que la incorrecta hidratación en horas de calor puede traer consigo el temido golpe de calor y la muerte (Ilustración 8).

Las plantas, los organismos que constituyen más del 98% de biomasa del planeta, despliegan sus hojas para capturar los rayos del sol y realizar la fotosíntesis, el proceso bioquímico más importante para mantener la vida en la Tierra. La fotosíntesis solo es capaz de aprovechar el 3% de la energía solar, y el resto, o es reflejado o capturado por la hoja, recalentándola hasta el pun-

to de que sin la transpiración, el proceso colapsaría de inmediato<sup>4</sup>. Para mantener la fotosíntesis activa las plantas usan el 99% del agua que absorben por sus raíces. De esta forma, las plantas funcionan como una especie de industria productora de alimentos que usan el agua para deshacerse de la energía sobrante, modificando en dicho proceso la temperatura del entorno. Esto es lo que ocurre encima de nuestras cabezas cuando descansamos bajo la sombra de un árbol, y de lo que se percataron y beneficiaban hace 5.000 años los antiguos egipcios.



**Ilustración 7.** Patio de la Casa de la Contratación de Sevilla. Los arriates rehundidos están delimitados por unos muros bellamente articulados mediante arquillos ciegos en los que se pintaron puertas de madera a modo de trampantojo. Los estudios polínicos corroboran la existencia de frutales a lo largo de diversos períodos de ocupación. Más información: Antonio Almagro, "Nueva interpretación del Patio de la Casa de Contratación de Sevilla".

Este planteamiento sugiere que desde la Antigua Mesopotamia y Egipto, y a diferencia del jardín oriental, el urbanismo también ha adoptado a las plantas con una utilidad material, al igual que lo hizo la agricultura, pero en este caso para hacer más habitables las viviendas de zonas calurosas y secas donde el agua es un recurso accesible. De esta forma, es posible plantear la tesis de que para ciertas civilizaciones con origen en Oriente Próximo, la parte espiritual sobreviniera tras interiorizar en su cultura esta utilidad, dotando al psique humano de afinidad y sensación de belleza hacia las plantas, tal y como lo hizo con el fuego.

<sup>4</sup> El complejo enzimático que controla la fotosíntesis se hace inestable cuando la temperatura foliar supera los 30°C, hasta el punto de detenerse y desnaturalizarse pasados los 40°C. Las plantas crasas han superado esta limitación mediante la denominada fotosíntesis CAM, que les permite no transpirar durante las horas de sol. Es por esta razón que las plantas crasas no refrigeran el ambiente por el día.



Ilustración 9. Patio cordobés, Calle Tafures, 2. En un recinto parcialmente cerrado y controlado como un patio, el proceso de enfriamiento adiabático llevado a cabo por las plantas permite crear una bolsa de frescor durante las calurosas tardes del verano cordobés que aísla la edificación y que al final de la tarde da lugar a una brisa interna que se mantiene incluso en los días de más calma.

El origen de los Patios de Córdoba es a nivel urbano de vivienda un fiel reflejo de este hecho. Su origen proviene de las civilizaciones del neolítico que vivían en climas secos y cálidos, con fácil acceso al agua. La vivienda se articulaba en torno a un patio interior con el agua como eje central, y plantas que transformaban el preciado líquido en frescura. Es posible que dichas plantas también fueran comestibles, sin embargo, con el tiempo empezó a desarrollarse un jardín en torno al pozo, fuente o alberca, que proporcionaba calidad climática al ambiente de sus hogares. Este tipo de arquitectura bioclimática junto a los grandes jardines confinados, fueron desarrollados y extendidos por los persas, siendo adquiridos más tarde por la cultura helenística tras la derrota de su imperio por los griegos. Siglos después, la asimilación de la cultura helenística por los romanos, que ni siquiera contaban con una palabra para designar el concepto de jardín<sup>5</sup>, extendió la jardinería de origen mesopotámico a todo el mediterráneo. La caída del Imperio Romano y el breve periodo visigodo, no impidió que en el sur de la península Ibérica se desarrollara e instalara por todos sus rincones la jardinería *medieval de al-Ándalus*, con la conquista musulmana. Fue el encuentro de dos maneras de ver el jardín con equivalente origen en los jardines del antiguo Imperio Persa.

En un contexto de clima extraordinariamente caluroso<sup>6</sup>, *al-Ándalus* lleva la jardinería a su máximo esplendor durante los siglos de dominio musulmán, dejando a su paso reliquias vivas que han perdurado sin interrupciones hasta nuestros días como el Patio de los Naranjos de la Mezquita de Córdoba y Alhambra de Granada, o jardines reconstruidos a partir de restos desenterrados como el Patio de la Casa de la Contratación de Sevilla (Ilustración 7) (3.6. Perspectiva historia del jardín occidental y el clima).

Han pasado muchos años desde entonces y sin embargo, la vivienda tradicional articulada en torno al patio continúa vigente. Hoy los Patios de Córdoba son una de las herencias de esta época, y su festival un referente cultural a nivel mundial hasta el punto de ostentar desde el año 2012 la categoría de Patrimonio Inmaterial de la Humanidad reconocido por la UNESCO (Ilustración 9). No obstante, es muy importante recordar que el patio no es un tipo de arquitectura y jardinería que solo debemos enmarcar en el folclore de esta región, sino que es también una referencia de arquitectura bioclimática y sostenible de climas con algún periodo cálido y seco como el mediterráneo<sup>7</sup>.

Así mismo, las viviendas con el patio ajardinado, son un ejemplo a pequeña escala de un sistema urbano con regulación pasiva de la temperatura. En este caso la masa crítica de vegetación es relativamente pequeña, ya que la confinación entre paredes permite que el efecto refrescante no se diluya, otorgándole un funcionamiento autónomo y menos dependiente del clima general de la ciudad.

En zonas abiertas, este efecto sólo empieza a ser visible cuando disponemos de un volumen apropiado de plantas y agua, ya que es necesaria una masa crítica de vegetación correctamente regada para transformar el microclima de un lugar. Para ello son muchos los elementos que contribuyen a potenciarlo: firmes que infiltran el agua de la lluvia, árboles de buen porte en las calles y podas no agresivas, alcorques amplios y no asfixiantes, riego controlado, pequeños jardines intercalados, cinturones verdes en los alrededores de la ciudad, cultivos regados, huertos urbanos, huertos en rodeos, tejados verdes, fachadas verdes, grandes jardines, avenidas arboladas, etc.

<sup>5</sup> Lo más parecido es el "*hortus romano*" que venía a significar terreno cerrado de reducido tamaño, donde se cultivaban plantas destinadas a la alimentación de la casa.

<sup>6</sup> El periodo cálido medieval u óptimo climático medieval fue un periodo de clima extraordinariamente caluroso en la región del Atlántico norte, que duró desde el siglo X hasta el siglo XIV.

<sup>7</sup> Sistemas Pasivos de Enfriamiento. Asistente Técnico para la Construcción Sostenible, ATECOS El [proyecto ATECOS](#). Asistente Técnico para la Construcción Sostenible, ha sido desarrollado durante los años 2010, 2011 y 2012 por Miliarium.com, la Fundación de la Universidad Autónoma de Madrid y la Fundación Entorno, que actuaron como entidades promotoras.



Ilustración 11. El río Guadalquivir a su paso por Córdoba y el cinturón verde de Sierra Morena, son dos elementos geográficos de gran valor e importancia a la hora de suavizar las temperaturas estivales de la ciudad.

El control del riego no sólo tiene importancia por la cantidad, sino también por la frecuencia y hora del día. Así un riego al atardecer, es menos eficiente desde el punto de vista del ahorro del agua, pero hace descender rápidamente la temperatura, consiguiendo mayores tasas de enfriamiento en los alrededores.

Estos criterios no solo son aplicables a los jardines, también a entornos naturales y agrícolas. De esta forma, el efecto refrescante de las riberas de los ríos se multiplica cuando el régimen del agua en verano se distribuye en pequeños cauces de poco calado, ya que de esta forma los árboles y arbustos pueden ocupar casi todo el espacio del lecho del río, y el agua moja mayor superficie de terreno. Los entornos naturales como el piedemonte de Sierra Morena de la ciudad de Córdoba, permiten refrescar el entorno de la capital gracias a la propiedad de los árboles de aprovechar el agua del subsuelo hasta bien entrado el verano (Ilustración 11). Finalmente, los cultivos agrícolas de regadío en el cinturón urbano son un recurso inestimable que beneficia al ambiente de la ciudad.

En definitiva, los servicios aportados por la vegetación al clima del sistema urbano son amplios y aplicables mediante infinidad de recursos. Sin embargo, este instrumento no es considerado en el ordenamiento de la ciudad y viviendas, y apenas estudiado de forma seria. La comodidad de la climatización en viviendas y movilidad gracias a la coyuntura actual de energía barata, ha permitido banalizar la función de plantas y jardines en la ciudad. Avenidas sin árboles transitables solo en vehículo motorizado, o viviendas modernas con la arquitectura tradicional de patio y diseño minimalista desprovisto de vegetales, donde el aire acondicionado ha reemplazado la función que antes desarrollaban estos, es solo una pequeña muestra. Ahorro de agua sin criterio, creación de superficies impermeables con vista a minimizar los costes de mantenimiento y limpieza, céspedes artificiales disfrazados como ecológicos, el abuso de pequeños árboles que molesten lo menos posible, profusión de especies xerofitas (Ilustración 10), la obcecación por no apantallar la vista de los edificios, y así un sin fin de ejemplos propios de este grave proceso de trivialización.

La magnitud del problema es aún más grave si cabe, ya que aún no hemos contextualizado esta situación en un escenario de cambio global. Según las pros-

pectivas realizadas para Andalucía (*Clima de Andalucía del siglo XXI*<sup>8</sup>) (5.1. El Clima de Andalucía del Siglo XXI), los escenarios de cambio climático estiman que la temperatura media aumentará entre 2 y 4°C, y que la mayor parte de este incremento recaerá sobre las estaciones de primavera y verano. Estudios como “Análisis de la influencia del cambio climático en las necesidades de climatización en Andalucía a escala de detalle territorial”<sup>9</sup>, (ver punto 3.5) vaticinan que la tasa de refrigeración en regiones como la capital de Córdoba aumentará a finales del presente siglo entre el 397% en el mejor de los escenarios (CNCM3 B1) y el 858% en el peor (CNCM3 A2) (Ilustración 12). Este incremento de las necesidades energéticas de climatización en un contexto de aumento del precio de la energía es sumamente crítico, con el consiguiente riesgo de empujar a multitud de hogares a la pobreza energética y disminución de la competitividad de las empresas. Otros muchos ámbitos como la movilidad y el estratégico sector del turismo, pueden verse delicadamente afectados.



Ilustración 10. Un jardín xerofito de plantas con muy bajas exigencias de agua es para el microclima mejor que un espacio sin vegetación. Sin embargo, si realmente quieres transformar tu entorno, diseña jardines con mayores exigencias en consumo de agua.

<sup>8</sup> Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía. Red de Información Ambiental (REDIAM). Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.

<sup>9</sup> “Análisis de la influencia del cambio climático en las necesidades de climatización en Andalucía a escala de detalle territorial”. Tesis doctoral de Xavier Marzo Artigas, dirigida por la Dra. María Fernanda Pita López, cuyo objetivo es la estimación de las variaciones espacio-temporales sufridas por las necesidades de climatización (calefacción y refrigeración) en Andalucía en el contexto del cambio climático.

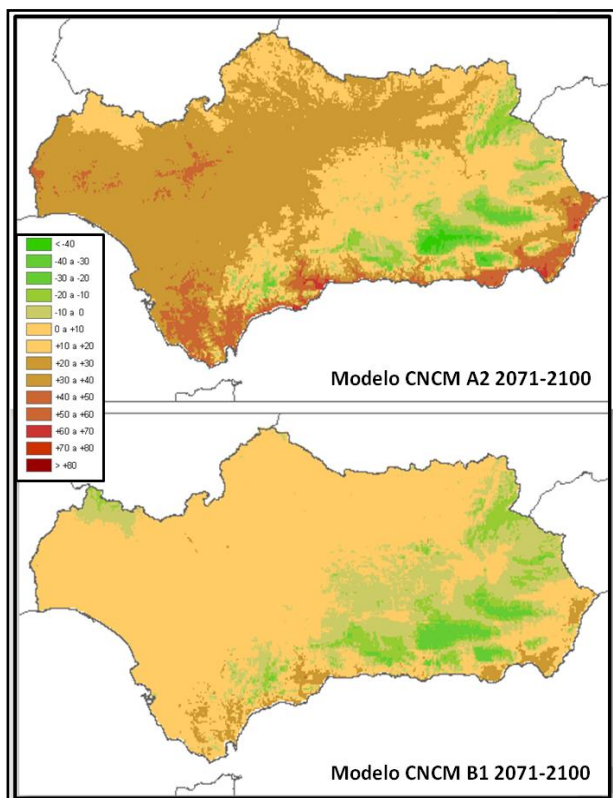


Ilustración 12. "Estimación de las necesidades de climatización en Andalucía en el contexto del cambio climático a escala de detalle". Mapa del incremento de la tasa de demanda potencial de climatización, donde es considerado de manera conjunta, tanto el aumento del gasto energético en refrigeración, como la disminución en calefacción (ver 3.5).

Finalmente, dado que la adaptación de las ciudades al clima actual y futuro no es una tarea ni fácil, ni inmediata, este proyecto tiene la intención de poner en valor y relanzar la concepción aquí expuesta sobre la importancia y utilidad de los elementos vegetales y zonas verdes correctamente regadas, para su uso como un criterio básico que debe adoptar el modelo urbanístico de una ciudad.

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto consiste en estudiar y valorar los servicios de regulación climática que la vegetación urbana aporta a ciudades como Córdoba, así como contribuir a la divulgación de su valor y conocimiento entre los ciudadanos, transmitiendo a la administración pública, tanto local como autonómica, la importancia que conlleva para la sostenibilidad urbana.

Antes de continuar avanzando es muy importante aclarar que en este documento se considera vegetación urbana a cualquier planta o conjunto de plantas de origen natural (un bosque por ejemplo) o artificial (un jardín o un cultivo, por ejemplo), localizadas en la ciudad o lo suficientemente cercanas a esta como para influir significativamente en su clima.

Este objetivo se alcanza gradualmente en dos fases. En la primera se establecen los fundamentos y antecedentes que sostienen esta tesis (Capítulo 3. Antecedentes), así como el diseño metodológico requerido para la toma y análisis de los datos que van a permitir

cuantificar la capacidad que posee la vegetación para modificar el clima local. Los resultados obtenidos en esta primera etapa abren la posibilidad de realizar multitud de estudios derivados, que serán abordados en una segunda fase. Entre otras tareas, esta segunda fase contemplaría la realización de estudios económicos de viabilidad y beneficios aportados a los diferentes sectores de la ciudad, espacialización y cartografía del clima urbano, la creación de un decálogo de criterios de gestión y planificación, así como mejora y remodelación del medio urbano para implantar infraestructuras verdes<sup>10</sup>.

La regulación que ejercen las plantas sobre el clima local de la ciudad es un efecto que va a ser analizado desde diferentes ópticas, tanto desde el punto de vista teórico como experimental, este último mediante la creación de una red de sensores meteorológicos en la ciudad de Córdoba. Desde la perspectiva científico-técnica serán definidas las claves y criterios urbanísticos que potencian la función reguladora del flujo de energía, temperatura y humedad, para que puedan ser incorporadas a la planificación y gestión del arbolado y jardines, tanto públicos como privados, así como patios de viviendas, y cómo estos criterios deben integrarse con el resto de elementos urbanos, y viceversa.

Por otra parte, la "bioclimatización" es un nuevo término usado para una técnica muy antigua. Es por este motivo que también se realiza un interesante acercamiento al jardín desde el punto de vista histórico, donde se vincula la evolución y expansión del jardín primogénito de las primeras civilizaciones de oriente próximo, con los acontecimientos históricos y variación natural del clima, dando una perspectiva histórica y climática al jardín de zonas mediterráneas y áridas (3.6).

Con el fin de relacionar y cuantificar los resultados esperados desde el punto de vista teórico de los mecanismos de termorregulación de una masa vegetal, con los resultados reales, es objetivo prioritario crear una red de sensores meteorológicos repartidos en lugares estratégicos de la ciudad de Córdoba y sus alrededores, para la medición de la evolución diaria de temperatura y humedad con alta resolución temporal (4.3). También es objetivo cuantificar el gasto de agua que hace posible este proceso y su curva de eficiencia, eficacia del tipo y momento del riego, la importancia de las masas de agua, el efecto de la impermeabilización del suelo, la dinámica de la termorregulación, la masa crítica de vegetación, las especies vegetales y la estructura de la canopia. Es por esta razón que el proyecto debe contar con un ámbito de estudio que tenga una amplia gama de tipos y tamaños de jardines.

En contrapunto las estaciones meteorológicas también tomarán datos de diferentes lugares carentes de elementos vegetales y próximos a las estaciones que sí lo están -"verde sobre negro"-, con el fin de poder comparar las diferencias entre los diferentes climas locales, sin la interferencia de otros factores: zonas asfaltadas, calles sin árboles, aparcamientos, jardines minimalistas y patios sin plantas, son algunos de los

<sup>10</sup> La infraestructura verde consiste en la utilización de vegetación, suelos y procesos naturales para funciones tales como la gestión del agua de lluvia y la creación de ambientes más saludables.

ejemplos de tipos de localizaciones que por el material y ausencia de plantas no pueden poner en marcha el mecanismo de *enfriamiento adiabático* generado por la evapotranspiración.

Uno de los productos más interesantes y útiles que se van a obtener es la clasificación o tipificación urbanística según las diferentes respuestas ejercidas en la regulación del clima (4.2.3). Este producto permitirá calificar con una etiqueta escenarios urbanos existentes o proyectados por su contribución a la mejora del confort climático de la ciudad, así como su grado de adaptación al cambio climático.

Valorar el jardín en el contexto de *cambio climático global* es fundamental si se quiere tener una perspectiva a futuro del jardín. En este sentido, este trabajo entra directamente a exponer una visión radicalmente contraria a la tendencia creciente y preocupante de usar como criterio la adopción de técnicas y especies vegetales que minimicen el riego de los jardines para adaptarnos a un presunto cambio climático que transformará nuestro clima en un ambiente más caluroso y seco, donde el déficit hídrico aumentará tanto en los sistemas naturales como rurales y urbanos. La creación de jardines minimalistas con apenas plantas y superficie impermeable, o el uso indiscriminado de la xerojardinería para la expansión de la ciudad con nuevos jardines, es una perspectiva tentadora cuando entendemos que la adaptación al cambio climático significa crear sistemas urbanos con menor demanda de agua, con tal de prepararnos a un escenario con menos recursos hídricos. Esta es una visión casi suicida del sistema urbano, ya que como hemos empezado a vislumbrar en la introducción, el efecto de isla de calor de las ciudades se incrementa con este tipo de espacios, aumentando el gasto energético de viviendas y haciendo más difícil la movilidad no motorizada, quedando los espacios abiertos inhabitables durante buena parte del año, donde la vida del ciudadano queda confinada a lugares cerrados y a las horas nocturnas del día. El punto de vista presentado en este trabajo no consiste en la adaptación al cambio climático de los jardines, sino el uso de estos como un instrumento de adaptación al cambio climático en las ciudades.

Por su complejidad y extensión, no es objetivo de este proyecto estudiar los beneficios indirectos que dichos servicios pueda tener sobre los diferentes sectores de la sociedad, aunque se dedica un apartado específico a nombrar los más importantes (3.1).

Por otro lado, el uso como ámbito piloto de la ciudad de Córdoba no es caprichoso, conjugando una serie de peculiaridades que la hacen única para un estudio de esta índole. Se trata de una de las ciudades con el verano más caluroso de España y muy baja humedad relativa. Su cercanía a Sierra Morena le proporciona una cosecha abundante de agua, mientras que la situación geográfica respecto al piedemonte y río Guadalquivir le confiere una situación idónea para el estudio de otros factores relacionados con el clima local (3.3 y 3.4). Finalmente, la ciudad de Córdoba cuenta con una historia muy apegada a la jardinería, que alcanza su máximo esplendor con la capital de *al-Ándalus* (3.7 y 3.8). Así mismo, Córdoba es tradicionalmente una ciudad con gran abundancia de jardines y árboles, aunque como se justifica en este estudio no lo suficiente, actualmente

ostenta ser la ciudad con más superficie verde por habitante de Andalucía<sup>11</sup>. Esta abundancia, proporciona gran variedad de tipos y tamaños de jardines idóneos para su monitorización.

Paralelamente al avance del proyecto, se desarrolla una estrategia de comunicación encaminada a difundir la información y conocimiento generado. El objetivo consiste en crear opinión y sensibilización sobre un aspecto crucial para la sostenibilidad de esta y otras ciudades en la misma situación.

Por último, y no menos importante los Patios de Córdoba están catalogados por la UNESCO como Patrimonio Inmaterial de la Humanidad, y es como objetivo específico de este proyecto estudiar la importancia que este tipo de jardinería integrada con la arquitectura, tiene en la vivienda particular, constituyendo un tipo de bioclimatización pasiva idónea para regiones mediterráneas con veranos secos.

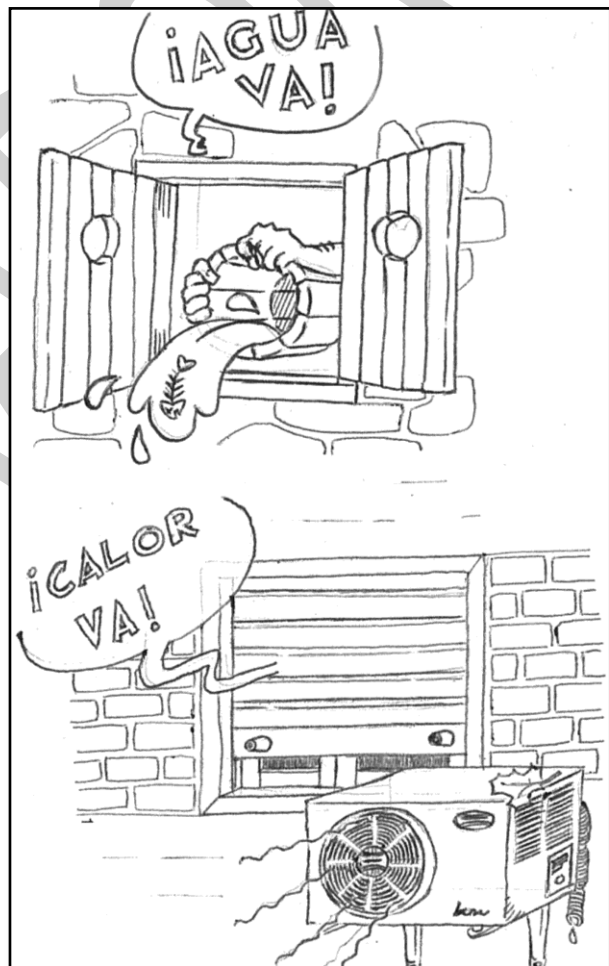


Ilustración 13. De la insalubridad higiénica en el espacio público característica de edades antiguas pasamos a la insalubridad climática de la edad contemporánea. Autor: Manuel Hernandez Martinez.

<sup>11</sup> Según la Delegación de Infraestructuras del Ayuntamiento de Córdoba en 2014, se trata de la ciudad andaluza con más zona verde pública, contando con 15,48 m<sup>2</sup> por habitante, valor que supera los parámetros marcados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), cuya horquilla está entre los 10 y 15 m<sup>2</sup>.



### 3. Antecedentes

En este capítulo son expuestos de manera separada cada una de las piezas de un puzzle cuya visión en conjunto nos va a permitir tener una perspectiva diferente sobre la utilidad de los jardines en climas mediterráneos y áridos. En primer lugar serán enumeradas y descritas brevemente los efectos indirectos de tener un clima local de calidad (3.1). Hablaremos del clima actual de la ciudad de Córdoba y también del futuro, en otro capítulo enmarcado en las perspectivas de cambio climático en Andalucía (3.4). No es posible entender este proyecto sin conocer las bases científicas que explican y cuantifican la capacidad de refrigeración de las plantas con el proceso denominado desde la termodinámica “enfriamiento adiabático” (3.2). Desde muy antaño este fenómeno no ha sido indiferente al hombre, y su uso en el urbanismo va a ser descrito en una breve perspectiva histórica del jardín en un contexto de cambio climático (3.6). Uno de los puntos clave de este trabajo es relacionar el clima de la ciudad con el gasto energético. Para ello se dedica un apartado con las conclusiones de un interesante proyecto de investigación titulado “Estimación de las necesidades de climatización en Andalucía en el contexto del cambio climático a escala de detalle” (3.5). Finalmente realizaremos un análisis del jardín medieval de *al-Ándalus* (3.7) y casa patio de Córdoba desde el punto de vista de la capacidad de acondicionar el clima local de una vivienda (3.8).

#### 3.1 Importancia del clima local de una ciudad

La calidad climática es uno de los bienes más importantes que otorgan las plantas y zonas verdes a ciudades de clima cálido y seco. Se trata de un servicio de regulación climática de interés público, que mejora la calidad de vida de los ciudadanos y turistas, tanto en el espacio abierto como cerrado, ya que la atenuación del efecto isla de calor, o incluso reversión a isla fresca, implica la mejora de la eficiencia energética en las viviendas y movilidad en espacios abiertos. Conseguir hacer una ciudad con un clima local confortable es un logro que repercute positivamente sobre multitud de sectores como salud, movilidad, turismo, comercio e industria, entre otros.

Desde el punto de vista de la salud pública en el ámbito de la prevención, un clima local confortable repercute positivamente sobre la salud humana en muchos aspectos. En esta línea suelen considerarse los efectos negativos de un ambiente cálido que incide directamente sobre la salud, como agravio de los problemas respiratorios, alteración del ritmo cardiaco, golpes de calor, fatiga, deshidratación, déficit salino, etc. En un ambiente cálido se activan los mecanismos de termorregulación mediante la transpiración y la evacuación de calor mediante el flujo sanguíneo, sometiendo al cuerpo a un estrés semejante a cuando se realiza ejercicio físico, aun estando en reposo. Es por este motivo que los ambientes cálidos afectan especialmente a personas con alguna deficiencia en el sistema cardiovascular.

Sin embargo, la mayor repercusión que puede tener el clima en la salud humana no es directo, ya que un

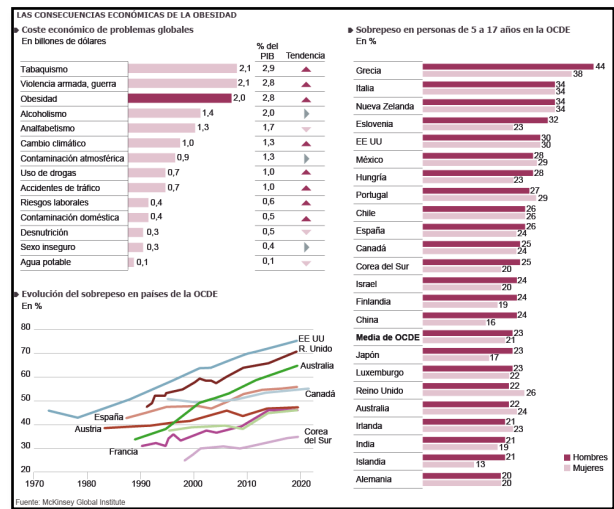


Ilustración 14. En EE UU, el coste anual de la obesidad en función de la productividad para las empresas asciende a 153.000 millones de dólares, según la consultora Gallup. En Europa, la cifra ronda los 160.000 millones, según un informe de Bank of America-Merrill Lynch. Un estudio realizado hace cuatro años por los expertos de la Clínica Mayo de EE UU calculó que si el tabaquismo aumenta los costes de la atención sanitaria un 20% cada año, y la obesidad eleva ese porcentaje al 50%.

ambiente cálido afecta indirectamente y con mucho peso a uno de los problemas ya de por sí graves a los que se enfrenta la sociedad actual: el sedentarismo y la obesidad. Este es un problema generalizado en países ricos y cada día más en los emergentes, hasta el punto de representar un sobrecoste económico de hasta 2.8% del PIB mundial<sup>12</sup> (Ilustración 14), superando a día de hoy las muertes por desnutrición. Todos los expertos reconocen que la mejor solución a este problema va de manos de la prevención, y una de las claves para ello es la actividad física, ya sea por medio del deporte, como de la movilidad no motorizada. Sin embargo, el sedentarismo y obesidad se ven favorecidos en climas muy cálidos o muy fríos, ya que son ambientes que invitan a no salir de casa, o hacerlo en coche. De esta forma, el confort climático del espacio público abierto se convierte en un factor del ambiente urbano básico para promover la actividad física, lo que sitúa a las zonas verdes en una posición estratégica. En Córdoba, el problema del sedentarismo y obesidad han cobrado un papel preocupante hasta el punto de ser la provincia de Andalucía con más tasa de obesidad infantil, constituyendo a ser causa de enfermedades de todo tipo como las cardiovasculares o diabetes de tipo 2<sup>13</sup>, muy extendida tam-

<sup>12</sup> El impacto de la obesidad en la economía mundial se calcula en torno a los 2 billones de dólares, equivalentes al 2,8% del producto interior bruto (PIB) global, según McKinsey. La gravedad del problema está a la altura del tabaquismo, la violencia armada o el terrorismo; y sus consecuencias se expanden a muchas áreas de la economía, desde los costes sanitarios, pasando por la caída de la productividad y el aumento del absentismo laboral.

<sup>13</sup> La prevalencia de la patología diabética en la provincia de Córdoba y en Andalucía es del 13,8%, casi 2 puntos por encima del porcentaje que se registraba hace solo 5 años (12%). Este dato supone que más de cien mil cordobeses, concretamente 112.000, padece esta enfermedad. El incremento de los casos de la diabetes tipo 2 se debe fundamentalmente a que es una dolencia estrechamente relacionada con la obesidad y el sobrepeso, que afecta a cerca del 40% de la población cordobesa.

bién en la provincia. A nivel regional, la cifra es tan preocupante que la propia Junta de Andalucía prepara para el 2016 una ley específica para combatir la obesidad. Esta ley pretende abordar el problema de una manera integral, instigando al urbanismo a crear ambientes propicios para la movilidad no motorizada, y es aquí donde el clima local adquiere gran relevancia.

El turismo en la ciudad de Córdoba requiere una mención especial. El impulso experimentado en los últimos años abre un esperanzador horizonte de desarrollo económico en una ciudad donde el sector industrial es pequeño. Este turismo se desenvuelve principalmente en los meses de primavera, siendo el turismo cultural y patrimonial, como la fiesta de los Patios de Córdoba los que más turistas tanto extranjeros como locales atraen. Tener durante estos meses un clima local que favorece los paseos y visitas culturales es muy importante para asentar las bases de esta actividad económica, muy sensible a las perspectivas de cambio climático previstas. Este hecho requiere prestar una atención especial a barrios y paseos del casco antiguo que reciben a la mayor parte de los turistas.



Ilustración 15. El turismo cultural, muy importante en Córdoba, es muy sensible al confort climático de los espacios abiertos.

Un aspecto crítico para ciudades como Córdoba es su dependencia de la energía para la climatización de edificios. Este hecho hace que este trabajo dedique un apartado especial en el capítulo de antecedentes (3.5). El primer hecho relevante es el previsible continuo aumento del precio de la energía. A ello se suma unos escenarios de cambio climático nada halagüeños donde se advierte un incremento de la temperatura de entre 2 y 4°C en lugares como Córdoba, y a lo que se dedica por su importancia otro apartado especial (3.4). El aumento de las necesidades de climatización de viviendas, oficinas e industrias, al mismo tiempo que se encarece la energía son dos puntos críticos que trabajan en la misma dirección, con el consiguiente riesgo de aumento de la pobreza energética en hogares y la pérdida de competitividad del sector económico.

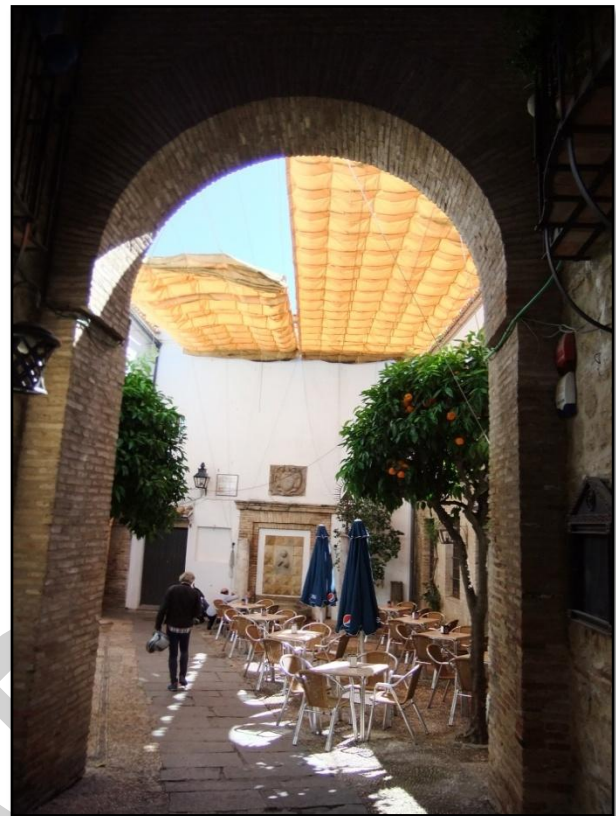


Ilustración 16. El buen estado de los árboles y jardines en las calles y rincones del casco antiguo de Córdoba, son básicos para crear ambientes apropiados para el paseo y estancia de turistas y ciudadanos. Cuando la calidad de estos no alcanza las expectativas esperadas, entonces deben reforzarse con elementos extras como toldos y sombrillas.

Apostar por una movilidad sostenible donde se fomenten los desplazamientos no motorizados, requiere una ciudad amigable, en la que el clima local confortable tiene un peso muy importante. En este sentido, las calles con arbolado de calidad y espacios verdes intercalados son un instrumento fundamental para acondicionar las rutas de peatones y ciclistas, así como las rutas comerciales.



Ilustración 17. Las calles emparradas son una buena técnica de climatización para calles estrechas, ya que apenas obstaculizan una vía pública ya de por sí estrecha, son fáciles de tuturar, no apantallan ventanas y pierden las hojas en los meses fríos.

### 3.2 Influencia de las plantas en el clima local: El “efecto oasis”.

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. La radiación solar que llega a la parte superior de la atmósfera terrestre tiene una potencia promedio de  $1.367 \text{ W/m}^2$ , cantidad denominada *constante solar*. Este valor está ligado a una variación cíclica (*ciclo solar*), con un periodo variable de 9 a 14 años. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. La cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga.

Una aproximación de la cantidad de energía incidente en la Tierra y cómo se transforma en la atmósfera y la superficie terrestre, se puede establecer de la siguiente manera: de la radiación total incidente, el 30% es reflejado al espacio exterior, mientras que la mayor parte del 70% restante calienta la superficie terrestre, la atmósfera y los océanos (47%) o se absorbe en la evaporación de agua (23%). Es muy poca energía la usada y dirigida al viento y las olas o para ser absorbida por las plantas en la fotosíntesis. De este calentamiento y del proceso inverso de condensación, prácticamente toda la energía es radiada al espacio exterior en forma de radiación infrarroja.

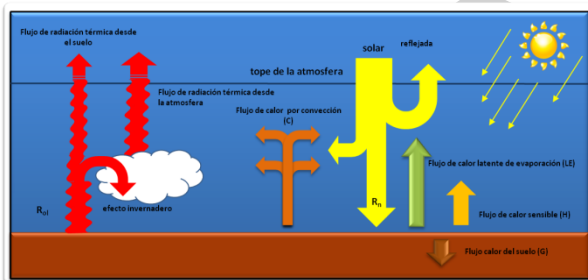


Ilustración 19. Esquema de la distribución de la radiación en el sistema tierra-atmósfera.

Estas son las cuentas promediadas a nivel planetario, sin embargo, a nivel local las cifras varían mucho en función del clima y de la cobertura de vegetación o usos del suelo. La tasa de reparto de la radiación neta entre calentar la superficie del suelo o convertirse en *calor latente de vaporización* es la clave de muchos climas. En un desierto, el problema crítico no es su elevada temperatura, sino más bien la carencia del agua que hace posible la termorregulación. Es por ello que un enclave de desierto con agua se convierte automáticamente en un oasis capaz de disminuir la temperatura por evapotranspiración. En los bosques de clima mediterráneo la temperatura se suaviza mientras el suelo conserva agua y las plantas pueden mantener la transpiración. Cuando el agua escasea, las hojas cierran los estomas y el ecosistema se recalienta igual que lo haría un desierto, incluso a mayor ritmo, ya que el albedo es menor en un bosque. Muchas ciudades han crecido a costa de la impermeabilización del suelo y segregación de zonas verdes, teniendo un comportamiento frente a la regulación de la temperatura muy parecida al de un desierto.

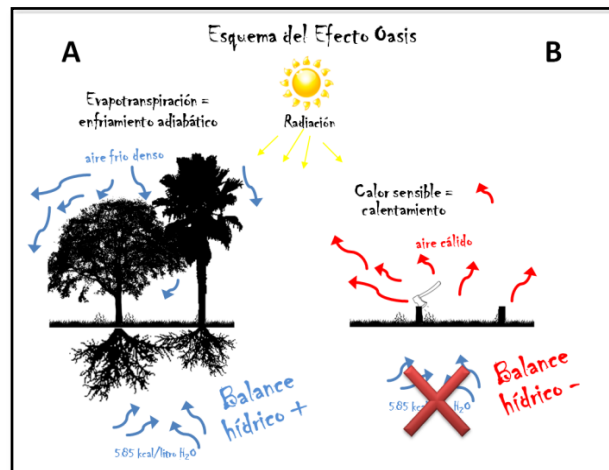


Ilustración 18. Esquema del Efecto Oasis. A: ecosistema arbolado con balance hídrico positivo y que explora con profundidad el subsuelo para obtener agua. Gracias a la transpiración es posible disminuir la temperatura ambiental. B: superficie sin arbolado o en déficit hídrico, al no disponer de agua o árboles que exploren el subsuelo para extraerla, no es posible la transpiración y el aire se recalienta.

Por tanto, existe una gran diferencia entre cómo se distribuye la radiación neta de un ecosistema natural con alta biomasa vegetal y bien provisto de agua, en relación a una superficie no viva y seca, como puede ser un desierto o una ciudad sin jardines. Como se adelantaba en la introducción, la *radiación neta* ( $R_n$ ) (restando la radiación reflejada) proveniente del Sol se distribuye en la cinco partes: *radiación térmica* ( $R_{o1}$ ), *flujo de calor latente de vaporización* ( $LE$ ), *flujo de calor sensible* ( $H$ ), *flujo de calor del suelo* ( $G$ ) y el *calor retirado por convección* ( $C$ ) (Ecuación 1). Esto puede ser descrito mediante la siguiente ecuación:

$$R_n = R_{o1} + LE + H + G + C$$

Ecuación 1. Ecuación de Balance Energético.

Para mantener en equilibrio esta relación, cuando cualquiera de los sumandos se anula el resto debe aumentar en la medida que físicamente le sea posible. El *flujo de calor latente de vaporización* ( $LE$  de Ecuación 1) representa la energía utilizada para la evaporación de agua en la superficie del suelo o plantas. La transición de fase de líquido a gas es una reacción endotérmica, es decir, consume energía mediante la captura de calor ambiente. Por el contrario, la condensación es un proceso exotérmico caracterizado por la liberación de energía en forma de calor, originando un calentamiento local. Un proceso y otro se producen de manera deslocalizada, el primero en la superficie del suelo o de la planta, y el segundo en la atmósfera justo cuando se genera la lluvia en las nubes, y en menor porcentaje en el suelo mediante el rocío. Es por ello que la evapotranspiración hay que entenderla como una especie de cinta transportadora que recoge energía en la superficie de la tierra y la traslada a lugares remotos, la mayor parte a capas altas de la atmósfera. Se necesita una cantidad de 2.45 MJ (0.68 kWh o 585 Kcal) de energía para la evaporación de 1 kg ( $\approx$  1 litro) de agua a  $20^\circ\text{C}$  ( $1 \text{ Kcal} = 1000 \text{ cal} = 4.187 \text{ J} = 4.18 \cdot 10^{-3} \text{ MJ}$ ). La misma cantidad de energía que se libera durante la condensación de 1 kg de vapor de agua. La ebullición es el nombre que recibe el proceso físico que experimenta el agua cuando a  $100^\circ\text{C}$  de temperatura es transformada en



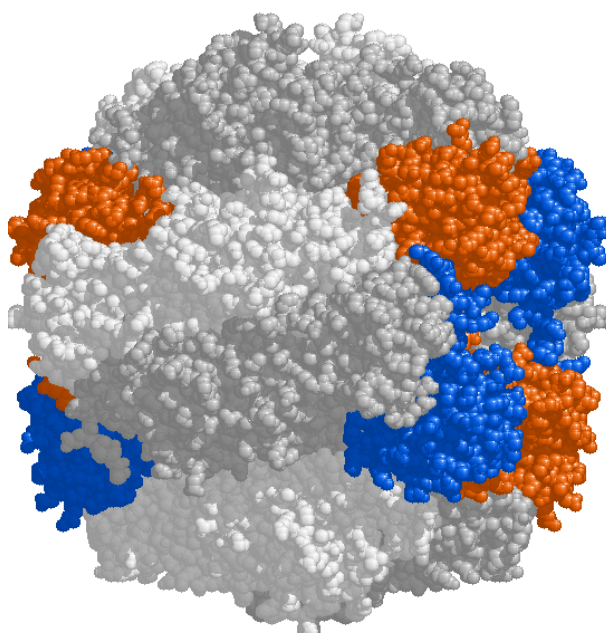
**Ilustración 20.** Cultivos tradicionales bereberes en el Alto Atlas de Marruecos. Muchas tribus bereberes del Norte de África poseen un extraordinario dominio de un sistema de cultivo que permite transformar grandes extensiones de montaña desértica en auténticos oasis. Este sistema se basa en un sistema de riego que consiste en el sangrado de torrentes de alta montaña en diferentes puntos del cauce, mediante pequeñas acequias de poca pendiente que distribuyen el agua por toda la ladera. De esta forma riegan frutales, nogueras, prados y cultivos en terraza. Este sistema transforma el paisaje y clima local de una región que de otra forma sería inhabitable desde el punto de vista climático. Este tipo de riego fue llevado a Sierra Nevada durante el período de *al-Ándalus*, y aún perdura en muchos de sus rincones<sup>1</sup>.

vapor. En este caso son 539 Kcal por litro de agua las necesarias para completar el proceso<sup>14</sup>. Sin embargo, para que se desencadene el cambio de estado, no es imprescindible llevar el agua a ebullición, ocurre incluso con el hielo a menos de 0°C (sublimación).

El agua es una molécula muy peculiar con propiedades únicas. La más conocida le da el sobrenombre de “*disolvente universal*”, al constituir el medio donde se desenvuelven la mayor parte de los procesos bioquímicos. Sin embargo, el *calor latente de vaporización del agua*, es una propiedad poco reconocida, muy importante y que maneja una magnitud descomunal de energía. Solo el amoníaco con tres átomos de hidrógeno (NH<sub>3</sub>) supera al agua (H<sub>2</sub>O) en capacidad de absorber energía durante la evaporación. Como ya hemos visto en la introducción, el proceso físico de dinámica de transiciones de fase del agua juega un papel crucial en la regulación térmica de los sistemas vivos y en la amortiguación de la temperatura en la Tierra.

Lo que ocurre a nivel planetario se repite a nivel de especie. Los seres vivos han sacado partido de todas las propiedades del agua. El caso de las plantas es especialmente llamativo, llevando a los límites de lo admisible detalles en apariencia irrelevantes como ocurre con la *tensión superficial*<sup>15</sup>, propiedad que permite succionar agua a presión negativa y remontarla sin cavitarse<sup>16</sup> desde el suelo hasta cotas de más de 100 metros. El *calor latente de vaporización* es otra de las

propiedades físico-químicas del agua que usan los vegetales terrestres. Las plantas son por definición organismos ectotérmicos, es decir, carecen de mecanismos fisiológicos que les permitan mantener la temperatura constante. Sin embargo, aunque la temperatura de los vegetales está muy influenciada por las condiciones atmosféricas externas, las plantas poseen cierto margen de control gracias a estrategias de regulación, que hacen lo posible por mantener la temperatura interna dentro de un intervalo admisible, con el fin de salvaguardar ciertas funciones biológicas básicas.



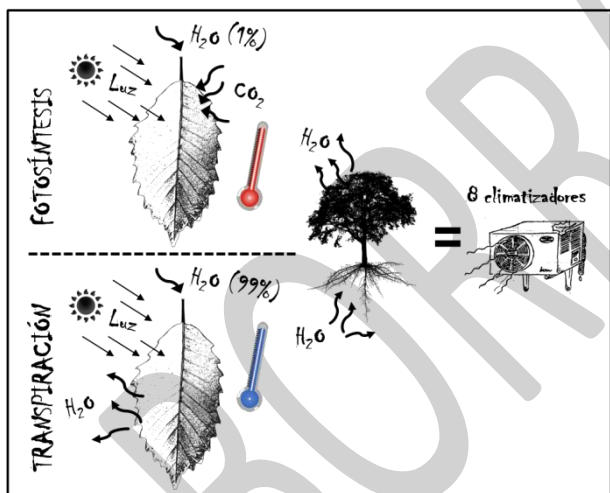
**Ilustración 21. Molécula de RuBisCO.** Su nombre completo es Ribulosa 1,5 bifosfato Carboxilasa-Oxigenasa. Esta proteína se encuentra en los cloroplastos de las plantas y constituye una de las enzimas más importantes de la fotosíntesis.

<sup>14</sup> El calor latente de vaporización del agua ( $\lambda$ ) en MJ/Kg depende de la temperatura en °C, según la siguiente función:  $\lambda = 2.501 - 0.002361 \cdot T$

<sup>15</sup> La tensión superficial de un líquido es a la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área.

<sup>16</sup> Embolia o colapso tras la ruptura del flujo de agua en los vasos conductores por la formación de pequeñas burbujas de vapor de agua.

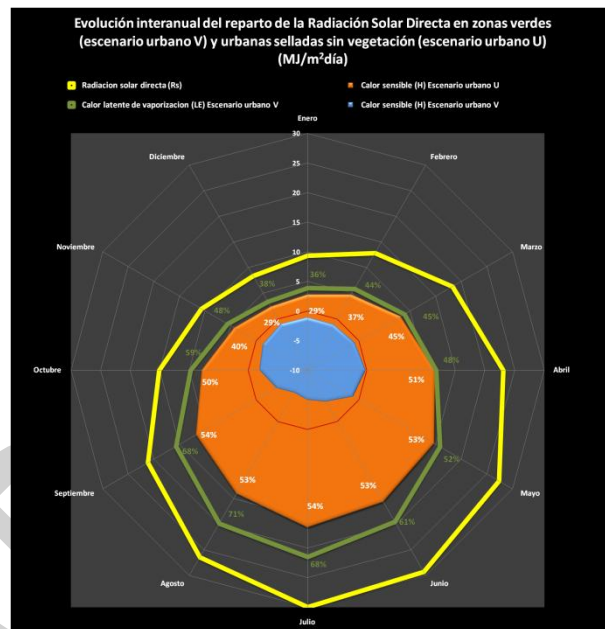
De todas estas funciones básicas, la fotosíntesis es la más crítica, y las plantas hacen todo lo posible para mantenerla activa, y no es para menos. La fotosíntesis es la industria más importante del planeta, y a ella se dedica el 98% de los recursos vivos. Los vegetales terrestres despliegan sus hojas para capturar los rayos del Sol con el objetivo de transformarlos en energía química. Se trata de un complejo proceso bioquímico que permite crear materia orgánica y oxígeno a partir de agua, CO<sub>2</sub> y energía solar. Prácticamente el 100% de los seres vivos, incluido el hombre, basan su alimentación en la fotosíntesis, constituyendo la base de la cadena trófica. Esta actividad biológica depende de una cadena de pigmentos y enzimas cuyo correcto funcionamiento solo es posible en un intervalo de temperatura, de tal manera que cuando la hoja alcanza determinados valores, la fotosíntesis se hace inestable hasta el punto de interrumpirse. Este es un grave problema al que se enfrentaron las plantas durante la evolución tras abandonar los océanos y dejar de beneficiarse de un medio acuoso con alta capacidad de tamponar la temperatura. Las hojas expuestas al sol solo son capaces de aprovechar el 3% de la energía solar incidente, mientras que el resto es reflejado ( $\approx 17\%$ ) o transformado en calor dentro de la propia hoja ( $\approx 80\%$ ), lo que implica un aumento de la temperatura foliar. Este exceso de energía no aprovechable por la fotosíntesis es inadmisibles para mantener en marcha el proceso fotosintético.



**Ilustración 23.** Las condiciones de luz y temperatura del medio donde las plantas concibieron la fotosíntesis son decisivas durante la conquista de la superficie terrestre, ya que las plantas deben propiciar a las células fotosintéticas un ambiente semejante en un medio con muchas limitaciones. El diseño de su estructura orgánica debe desempeñar multitud de funciones, entre ellas, mantener la temperatura celular en un intervalo apropiado. Ningún químico ensaya sus experimentos sin controlar el intervalo de temperatura del medio de reacción. Las plantas tampoco. Cada hoja es como una placa fotoquímica conectada a una red de tallos y raíces que suministran entre otras cosas el agua que hace posible mantener una temperatura estable. De esta forma, y visto en conjunto, una planta puede ser considerada como una industria productora de energía química, con un sistema de refrigeración que estabiliza el proceso bioquímico.

Sirva como representativo el RuBisCo (Ilustración 21), la proteína más abundante del Planeta por la importancia que tiene como enzima durante la fotosíntesis. Estimulado por los pigmentos clorofílicos es la primera molécula que fija el CO<sub>2</sub> atmosférico para transformarlo en carbono orgánico, constituyendo así el eslabón crítico que marca el principio y el fin del ciclo de la vida. Apare-

ce pronto en la evolución y sin alteraciones importantes llega a nuestros días como la molécula más importante para la vida en la Tierra. Sin embargo, esta molécula es relativamente delicada a temperaturas elevadas, dejando de funcionar o incluso desnaturalizándose cuando alcanza los 40°C.



**Ilustración 22.** Evolución interanual de la radiación solar directa en MJ/m<sup>2</sup>/día y su reparto entre calor latente de vaporización en zonas verdes (escenario urbano V) y calor sensible en zonas verdes (escenario urbano V) y zonas urbanas selladas sin vegetación (escenario urbano U). Las etiquetas en porcentaje representan la proporción de energía solar que se transforma en calor sensible en el escenario U y calor latente en el escenario V.

Para evitar esto, las plantas terrestres deben ensamblar a la función fotosintética un sistema de refrigeración eficaz, potente y que no consuma energía: la transpiración estomática. La transpiración es la evaporación del agua en las hojas de las plantas, y permite disipar la energía sobrante a un ritmo equivalente al *calor latente de vaporización*<sup>17</sup>. Se produce incluso cuando existe saturación de humedad atmosférica, hecho que no sucede en superficies de agua. No es la única estrategia usada por las plantas para deshacerse de la energía sobrante, ya que muchas características morfológicas están diseñadas para equilibrar el balance energético en la hoja. El aumento del albedo con pubescencia en el haz foliar, el tamaño, grosor, rugosidad, disposición respecto del sol y forma de la hoja, y longitud del peciolo, entre otras características morfológicas, son ejemplos que modifican las tasas de intercambio de energía con el sol y la atmosfera. El calor sobrante es evacuado por medio de la transpiración siempre y cuando los estomas se mantengan abiertos, mientras su cierre reduce la pérdida crítica de líquido, sobreviniendo

<sup>17</sup> Un árbol de 50 m<sup>2</sup> de copa en un jardín de Córdoba, sano con agua disponible puede tener una potencia de refrigeración de 11,3 kW (8 litro/m<sup>2</sup> · día) · (0,68 kWh/litro) · (50 m<sup>2</sup>/árbol) · (1/24 día/h) = 11,3 kW/árbol en el mes de agosto. Esta potencia equivale a 8 climatizadores de 1,5 kW de potencia eléctrica dando servicio a 400 m<sup>2</sup> de un local cerrado.

la suspensión de la fotosíntesis por exceso temperatura y falta de CO<sub>2</sub>. La planta queda aletargada a la espera de mejores condiciones.

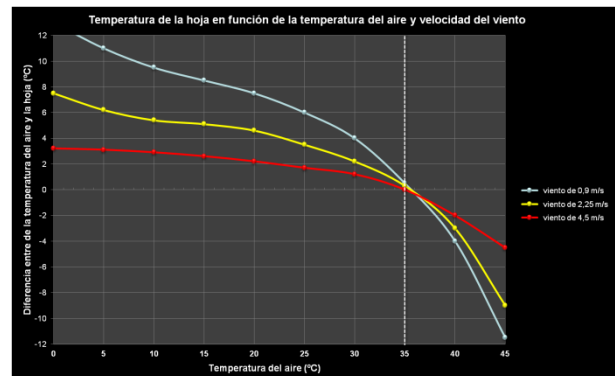


**Ilustración 25.** Roble persa (*Quercus castaneifolia*) en el Jardín Botánico de Córdoba. Los suelos húmedos de riberas de arroyos y ríos suelen albergar árboles frondosos de hoja ancha y caduca, siempre y cuando el resto de condiciones ecológicas lo permita. La exposición al Sol de hojas grandes requiere mayores tasas de transpiración que las hojas pequeñas (**Ilustración 24**), ya que la advección es menos eficiente en superficies amplias. Los peciolos largos permiten atenuar este efecto, ya que con muy poco viento es posible aumentar la convección, como ocurre con muchos de los árboles del género *Populus*. En climas como el de Córdoba, aún con disponibilidad de agua en sus raíces, la alta radiación solar y temperatura ambiente, excede la capacidad de transpiración de la hoja, provocando quemazones a finales del verano. Para que prosperen en estos lugares es necesario buscar enclaves más frescos, protegidos del Sol y escaso viento (**Ilustración 26**), lo que se consigue al amparo de otros árboles de mayor porte y fuentes de agua próxima.

La apertura o cierre estomático en función del estado hídrico de la planta es un comportamiento que define de manera determinante la estrategia con la que una especie se enfrenta a unas condiciones climáticas determinadas, ante un recurso limitado que debe usar para producir alimentos sin morir por deshidratación en el intento. Su medida depende de cada especie y estado, y define la predisposición más o menos conservadora a la hora de apostar por seguir refrigerando la hoja para mantener activa la fotosíntesis o ser prudente y ahorrar agua por si la situación de estrés hídrico se prolonga y pone en riesgo su integridad.

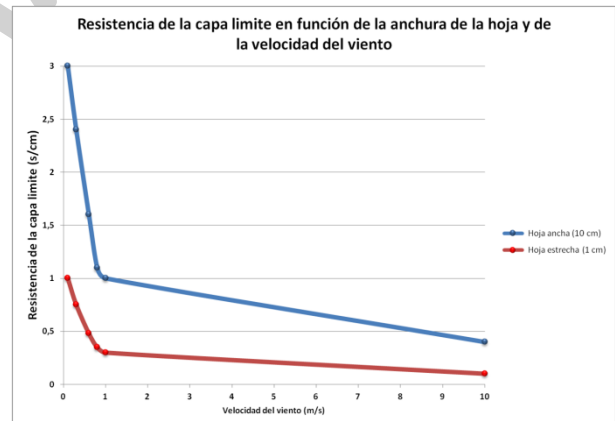
En climas cálidos, las plantas aprovechan, y por tanto evacuan hasta 3% de la radiación solar por medio de la fotosíntesis, a lo que destinan el 1% del agua, mientras que para proteger su delicado funcionamiento, las hojas deben disipar entre el 30 y 70% de la radiación solar, desviándola hacia calor latente de vaporización mediante la transpiración foliar, a lo que derivan el 99% del agua restante (**Ilustración 22**). Sin plantas y agua, esta energía procedente del Sol se invertiría en recalentar el suelo y la atmósfera. La transpiración de los vegetales no solo es capaz de reducir la contribución de una zona al calentamiento del ambiente, sino que también

pueden hacerse cargo de evacuar un porcentaje importante de calor procedente de lugares colindantes.



**Ilustración 26.** Diferencia de temperatura entre la hoja y el aire, en función de la temperatura del aire y la velocidad del viento (Plant Physiology, Wadsworth, 1992). Este gráfico muestra como las hojas expuestas al Sol adquieren mayor temperatura que la atmosfera que le rodea hasta aproximadamente los 35°C, momento en el que comienzan a estar más frescas a pesar de empeorar las condiciones ambientales. A partir de este punto, el viento afecta de manera inversa que en la etapa anterior, ya que el doble papel de la advección, ahora es contrapuesto.

La refrigeración de las hojas no es la única utilidad de la transpiración, ya que también permite a las plantas transportar minerales disueltos en el agua desde el suelo a través de sus raíces y tallos hasta las hojas. También usan una mínima parte del agua para sustentar tejidos y material para realizar la fotosíntesis<sup>18</sup>. No obstante, la pérdida de agua en las hojas es inevitable cuando la planta no tiene más remedio que abrir los estomas para capturar CO<sub>2</sub>. Por otro lado, hay que decir que parte de la radiación solar es usada para bombear el agua del suelo a las hojas mediante la creación de un gradiente hídrico con las raíces.



**Ilustración 24.** Resistencia de la capa límite o estacionaria de aire en función de la anchura de la hoja y de la velocidad del viento. La capa límite o estacionaria consiste en una fina película de aire de anchura variable, que gracias a la tensión superficial mantiene cierta cohesión con la superficie de la hoja. Esta capa de aire se encuentra a mayor saturación que la atmosfera y da lugar a una mayor resistencia a la transpiración. La pilosidad de las hojas ayuda a crear una capa límite más estable y gruesa.

<sup>18</sup> Son necesarias 6 moléculas de agua (H<sub>2</sub>O) y otras 6 de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), para crear una molécula de glucosa y 6 de oxígeno O<sub>2</sub>:  
6 H<sub>2</sub>O + 6 CO<sub>2</sub> → C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + 6 H<sub>2</sub>O

La tasa de evapotranspiración de masas de vegetación con suministro de agua, alcanza varios litros de agua por día y por metro cuadrado. Un cultivo de maíz en las proximidades de la ciudad de Córdoba puede estar evapotranspirando  $6 \text{ l/m}^2$  (6 mm) al día durante el mes de junio, lo que representa un flujo medio diario de calor latente de  $14,8 \text{ MJ/m}^2$ , 72,8% de la radiación solar incidente, calor que es retirado de la atmosfera con el consiguiente enfriamiento.



Ilustración 27. Acolchado o *mulching* de corteza de pino, usado para evitar la evaporación directa del suelo y el crecimiento de malas hierbas.

La advección o transporte de aire por el viento tiene un doble papel. En primer lugar retira el vapor resultante de la transpiración, disminuyendo el grosor de la capa límite o estacionaria de la hoja (Ilustración 24), lo que amplifica sustancialmente la pérdida de agua, sobre todo si este es seco. En segundo lugar, la advección es la responsable de la retirada (o aporte) del calor por convección.

Por consiguiente, la advección es muy influyente sobre los flujos de calor latente de vaporización, convección y calor sensible. En las mismas condiciones anteriores del cultivo de maíz en Córdoba, la energía retirada por la evapotranspiración se reduciría al 47% de la radiación solar incidente si no existiera advección, y 39% en condiciones de aire húmedo. Los bosques no solo se caracterizan por explorar con sus raíces más volumen de suelo para conseguir agua, también exploran con tallos y hojas varios metros de atmosfera, ampliando la superficie de contacto del agua con el aire. La anatomía y morfología de las hojas ayuda a aumentar o disminuir la velocidad del proceso. Por ejemplo, un largo

peciolo permite aumentar la transpiración al ampliar con el tremular de las hojas el efecto del viento, a modo de un abanico. Sin embargo, al estar controlada la transpiración por muchos factores también puede darse el caso contrario, dado que en una hoja recalentada más que la atmosfera, el viento puede influir con mayor peso en la retirada de calor por convección que por la retirada de vapor, lo que enfriaría la hoja y por tanto disminuiría la transpiración (Ilustración 25) (Salisbury et al.<sup>i</sup>). Del mismo modo, una hoja ancha expuesta al Sol se recalienta a mayor velocidad que otra estrecha ya que la convección es menos efectiva, requiriendo mayor aporte hídrico, que por otro lado puede verse limitado por la mayor resistencia de este tipo de hojas a la transpiración (Ilustración 24). Es por esta razón, que las hojas pequeñas, acículas, hojas divididas, etc. están más adaptadas generalmente a ambientes secos. Otro factor que explota la exploración en vertical de la atmosfera de un bosque, es que la velocidad del viento es mayor a mayor altura, haciendo este hecho más eficiente la retirada de vapor de agua.

En la ciudad de Córdoba, el fenómeno de advección puede ser muy importante para la evapotranspiración, amplificándola de manera sustancial. Caracterizada por su clima "*mediterráneo subcontinental de veranos muy cálidos*", la humedad relativa en los meses estivales es muy baja, por lo que cuando actúa el viento, este es muy secante. En una masa de bosque o jardín bien provisto de agua, el resultado final de la advección es la retirada de calor a mayor ritmo en las partes altas de las copas, quedando el aire fresco en la zona más estanca y protegida de la canopia vegetal, sin que esta llegue a sobresaturarse de humedad<sup>19</sup>. La consecuencia es el agradable ambiente que caracteriza a los jardines frondosos de las ciudades con estas características climáticas. Sin embargo, este efecto se invierte cuando la temperatura del aire es muy alta, ya que en este caso la convección aporta calor en lugar de retirarlo. En zonas verdes, cuando la temperatura es próxima a  $35^{\circ}\text{C}$ , el doble papel de la advección a la hora de retirar energía se anula a sí mismo, prevaleciendo el papel negativo cuando nos acercamos a temperaturas mayores de  $40^{\circ}\text{C}$ . En estas condiciones, el viento juega un papel perjudicial en la refrigeración del ambiente por las plantas, dando una ventaja considerable a climas locales con estabilidad atmosférica como ocurre en la ciudad de Córdoba (Ilustración 25) (ver 3.3. El Clima de Córdoba en la actualidad).

Según Monteith (1975)<sup>ii</sup>, un viento caliente y seco que sopla en un oasis húmedo evapora más agua de la que se puede calcular por el computo vertical de energía, pudiendo exceder valores de 15 mm por día (Kučerová et al., 2001<sup>iii</sup>). En el ejemplo del cultivo de maíz en Córdoba, el aumento del viento hasta el doble de la media mensual (de 3.5 m/s a 7 m/s) puede ocasionar el enfriamiento de la atmosfera al revertir el *flujo de calor sensible* a valores negativos de más del 20%.

<sup>19</sup> El aire húmedo es más ligero que el seco, sin embargo, en condiciones de enfriamiento adiabático, la disminución de la temperatura compensa el aumento de la humedad.

Otra peculiaridad que caracteriza a muchas plantas adaptadas a climas cálidos es el cierre estomático en las horas del día donde la radiación solar alcanza el cenit. En estas condiciones las hojas están sometidas a un flujo de radiación tal, que la transpiración no puede mantener la temperatura foliar apropiada para la fotosíntesis, aun teniendo disponibilidad de agua. En estas circunstancias no merece la pena continuar transpirando y la planta entra en una especie de “siesta vegetal” (Ilustración 28).

El *flujo de calor sensible* ( $H$  de Ecuación 1), representa la suma de todos los intercambios de calor entre la superficie de un paisaje y sus alrededores por conducción<sup>20</sup>. La proporción de *calor sensible* en el balance de energía de un ecosistema aumenta cuando el agua no está presente, ya que la capacidad de enfriamiento por evaporación por el calor latente se ve disminuida o anulada. En superficies secas, el flujo de calor sensible puede alcanzar valores de varios cientos de MJ/m<sup>2</sup>. Sin convección, el calor se acumula recalentándolo todo, y solo puede ser compensado por la *radiación térmica* ( $R_{o1}$  de Ecuación 1), eficaz solamente cuando la temperatura ya es muy alta.

Si las condiciones atmosféricas lo permiten, el *flujo de calor sensible* se alza en un movimiento turbulento creando inestabilidad atmosférica que activa el *flujo de calor por convección* ( $C$  de Ecuación 1), exista o no viento general, formando las corrientes de aire caliente o térmicas que caracterizan a las ciudades.

Por otro lado, el *flujo de calor del suelo* ( $G$  de Ecuación 1) es positivo cuando la tierra se está calentando. Su valor diario suele fluctuar a positivo durante el día y negativo por la noche, mientras que mensualmente es positivo en el cambio de estación de primavera a verano, muy estable y casi nulo bien entrado el verano y negativo cuando comienza el otoño. El flujo de calor en la tierra tiende a ser cero en su cómputo anual. Durante el periodo de crecimiento de las plantas en las horas del día, el *flujo de calor al suelo* oscila entre el 2% del *flujo neto de radiación* en un dosel con vegetación densa, a más del 30% cuando es dispersa o nula, y con poco sombreado del suelo (Jones, 1992<sup>iv</sup>). El *mulching* o *acolchado* en jardinería, o lo que es parecido, la capa de materia orgánica en zonas naturales, aísla el suelo del calor procedente del entorno. Si este está mojado, la conductividad térmica del suelo aumenta (Peters-Lidard et al., 1998<sup>v</sup>), aunque se ve compensado incluso invertido por evaporación directa desde la superficie. Sin embargo, si la capa orgánica no está sombreada, el bajo albedo puede crear el recalentamiento de atmósfera y suelo. Este hecho da lugar a que grandes superficies recubiertas con *mulching* como cortezas de pino con el fin de ahorrar agua, se comporten como puntos calientes que empeoran el confort climático durante el verano (Ilustración 27).

La vegetación viva también es capaz de almacenar cierta cantidad de energía cuando se recalienta,

sirviendo de sumidero gracias al alto *calor específico del agua*. Como hemos visto, la fotosíntesis también contribuye a almacenar pequeñas cantidades de energía, aunque este sumidero puede compensarse con la descomposición de la hojarasca si se trata de un bosque maduro.

Finalmente, el vapor de agua de la atmósfera procedente de la transpiración de las plantas también influye en la absorción de radiación, al actuar sobre la banda visible e infrarrojo. Este hecho no solo afecta a la hora de atenuar la radiación solar entrante, sino que también hace disminuir la radiación térmica saliente. Este efecto es notable para la disipación de energía durante la noche, más lenta en bosques y jardines que en superficies rocosas y artificiales, y que se suma al efecto rebote en el dosel vegetal.



Ilustración 28. La “siesta vegetal” consiste en el aletargamiento durante varias horas del día de la actividad vegetal por cierre estomático de las plantas que están recibiendo la radiación directa del sol. La alta radiación absorbida por las hojas al medio día excede hasta tal punto la temperatura foliar, que a la planta no le compensa producir por su alto coste de recursos hídricos. En jardines de canopia estratificada, las ramas inferiores de los árboles, los arbustos, plantas pequeñas y césped toman el relevo de la transpiración, dado que estas se encuentran protegidas de la radiación directa por los estratos superiores. Esta es una de las razones por la que los jardines con canopia compleja y árboles de copas estratificadas son más eficaces a la hora de mantener el ambiente fresco.

Como conclusión a este capítulo, es habitual considerar en el ámbito de la fisiología vegetal, ecología, jardinería, etc. que la pérdida de agua por transpiración en las plantas es un proceso colateral, indeseado e inherente a la absorción de nutrientes y captura de CO<sub>2</sub> por las plantas. Sin embargo, hemos visto la importancia que este fenómeno tiene a la hora de regular la temperatura en el proceso fotosintético y la ingente cantidad de energía manejada en ello, lo que hace pensar que la termorregulación por transpiración sea objetivo prioritario para la fisiología de las plantas en climas cálidos (Lambers et al., 1998<sup>vi</sup>). Independientemente de estas consideraciones más propias en el ámbito la discusión científica, el hecho cierto es que el proceso de transpiración de los vegetales es capaz de disipar entre el 30 y 70% de la radiación solar neta incidente en la superficie durante la época más calurosa de lugares como Córdoba, evitando que dicha energía se incorpore al *flujo de calor sensible* y se transforme finalmente en temperatura ambiental. Esto significa que desde el punto de vista microclimático, considerar la utilidad de un árbol exclusivamente por su sombra es una simplificación que da lugar a graves errores en la planificación urbanística.

<sup>20</sup> Algunos autores incluyen en el *flujo de calor sensible* el *flujo de calor por convección*.



### 3.3 El Clima de Córdoba en la actualidad

Andalucía se encuentra en una franja de latitud influenciada por los grandes anticiclones subtropicales y los grandes ciclones polares. El resultado de esta situación intermedia, y en función del desplazamiento general de los centros de acción, se producen dos estaciones bien diferenciadas, una de estabilidad por la acción de los anticiclones subtropicales en verano, y otra de inestabilidad por los centros polares en invierno.

Por otra parte, la influencia atlántica también es una característica del clima andaluz, que modulada por el relieve, hace que el frente oeste se encuentre expuesto a los vientos atlánticos inestables y húmedos.

Sin embargo, a pesar de que el clima de Andalucía está regido por estos dos grandes dominios, el intrincado relieve de una región a caballo entre el Océano Atlántico y mar Mediterráneo, da lugar a una extraordinaria variedad climática, aunque siempre marcada por un carácter mediterráneo muy patente. De esta manera y sin ir más lejos, dos ámbitos andaluces relativamente próximos como son Cabo de Gata y Grazalema, registran los récords españoles de precipitaciones extremas en sentidos opuestos (Ilustración 29). Semejantes circunstancias encontramos con las temperaturas, donde en una misma provincia como Granada, coexisten cultivos subtropicales con climas severos de alta montaña.

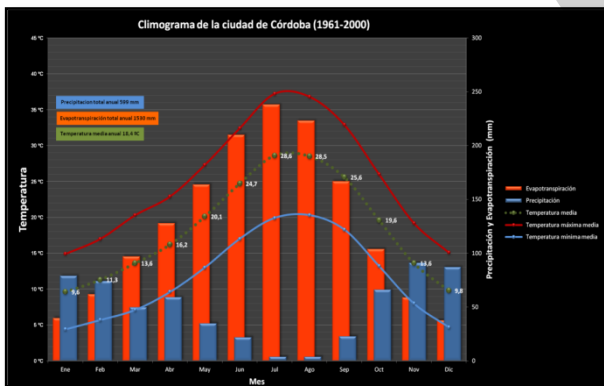


Ilustración 30. Climograma de la ciudad de Córdoba en el periodo climático 1961-2000.

Dentro de este contexto de clima subtropical-templado o mediterráneo, la ciudad de Córdoba posee un clima que puede definirse como *mediterráneo subcontinental de veranos cálidos* (Ilustración 30) (Csa.17 según Köppen). Los inviernos son suaves (9,6°C de media en enero) regidos mayoritariamente por la influencia oceánica del atlántico, con heladas ocasionales y algunas nevadas históricas. El carácter más marcado del clima de Córdoba es su verano seco y muy caluroso (28,6°C de media, 4 mm de lluvia y 40% de humedad relativa en el mes de Julio), donde se impone una situación de levante, asociada a la fuerte subsidencia del aire generada por el *Anticiclón de las Azores*, con temperaturas máximas que sobrepasan con frecuencia los 40°C, ostentando el promedio más alto de Europa<sup>21</sup>.

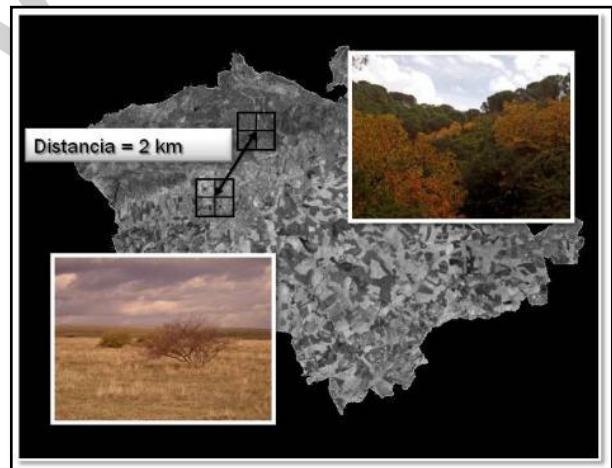
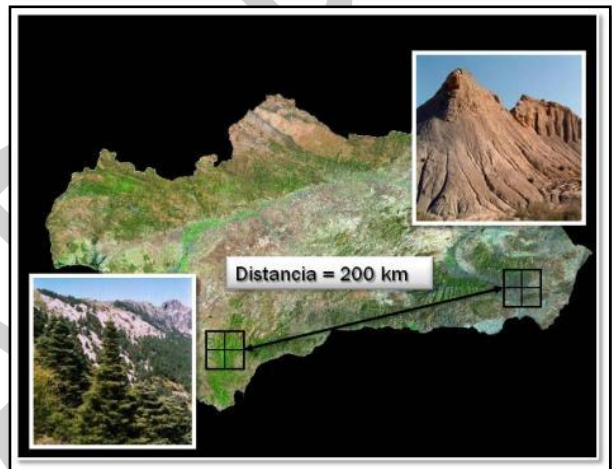
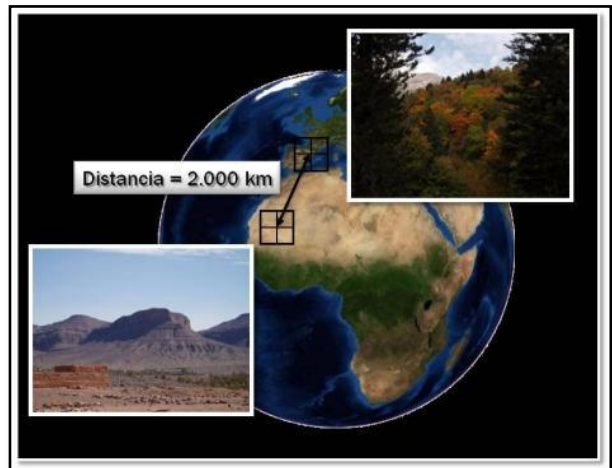


Ilustración 29. Diversidad climática de Andalucía. En Andalucía, el clima mediterráneo adapta formas semejantes a climas muy distanciados del planeta. De arriba abajo: a nivel global y a 2000 km de distancia, el desierto de montaña del Sahara y bosques de abetos y hayas del Pirineo; siguiente figura, a 200 km de distancia, bosques de pinsapo y quejigo y desierto de Tabernas; por último, bosque de pino piñonero y castaño, a menos de 2 km de matorrales subdesérticos de artos en el Término Municipal de Córdoba.

<sup>21</sup> Las temperaturas máximas registradas en el Observatorio del Aeropuerto de Córdoba (situado a 6 km de la ciudad) son los 46,6 °C del 23 de julio de 1995 y los 46,2°C del 1 de agosto de 2003.

Las oscilaciones térmicas diarias en verano son importantes, sin embargo, también tiene la peculiaridad de atravesar periodos donde la temperatura nocturna se mantiene muy alta. Las características orográficas de la ciudad hacen que sean frecuentes las situaciones de inversión térmica y alta estabilidad atmosférica, donde la advección queda anulada, con las consecuencias que ello supone para la contaminación atmosférica y los flujos de energía. Desde el punto de vista del clima local, este hecho puede ser tomado como un factor negativo ya que la estanqueidad atmosférica evita la disipación de energía por convección y evapotranspiración, sin embargo, la falta de advección en zonas verdes mantiene estable el enfriamiento local generado por la evapotranspiración cuando el aire procedente de las zonas colindantes es más cálido (3.2). Paradójicamente, este hecho da la vuelta a la posición de desventaja que ocupa Córdoba por su localización orográfica deprimida cuando los escenarios urbanos tienen alta presencia vegetación regada (escenario V de Ilustración 32).

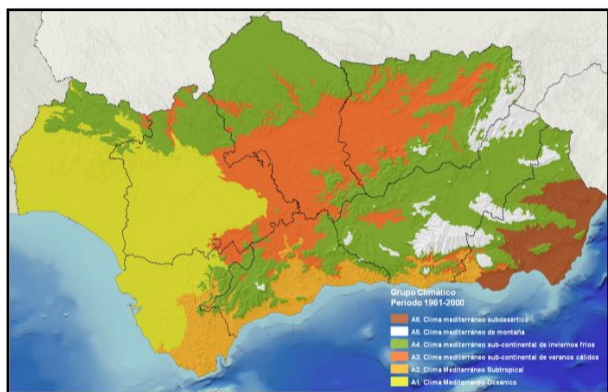


Ilustración 31. Clasificación bioclimática de Andalucía para el periodo 1961-2000. El clima mediterráneo sub-continental de veranos cálidos al que pertenece la ciudad de Córdoba, se extiende por el Valle Medio del Guadalquivir. A modo de corona, se transforma en "clima mediterráneo sub-continental de inviernos fríos" cuando el carácter continental se hace más severo.

La primavera de Córdoba suele ser muy agradable (20,1°C de media en el mes de mayo), extendiéndose desde el mismo invierno y acortándose en las proximidades del verano. Se trata de un momento esplendoroso para vegetación natural de su Sierra si el año ha venido bien de lluvias. Las precipitaciones son muy irregulares, estando en torno a los 600 mm. Se concentran en los meses más fríos, por la influencia atlántica y entrada de borrascas por el oeste. El mes de septiembre puede convertirse en una pequeña primavera cuando las lluvias se adelantan.

La evapotranspiración de referencia anual calculada por el modelo de Penman-Monteith, es de 1.530 mm, con un máximo de 239 mm en el mes de julio (resto de meses en Tabla 1). Esto quiere decir que en las condiciones estándar consideradas por este modelo, la evapotranspiración sin limitaciones de agua es de 7,7 litros por metro cuadrado y día durante el mes de julio. Desde el punto de vista de flujo de energía, esta evapotranspiración estaría retirando 19,3 MJ/m<sup>2</sup>-día, un 68,7% de la radiación solar directa (que asciende a 28,93 MJ/m<sup>2</sup>-día en el mes de julio) (Ilustración 32). La insolación o número de horas de sol anual para Córdoba asciende a

2.800 como promedio anual, con máximos de 352 en julio y 148 en diciembre.

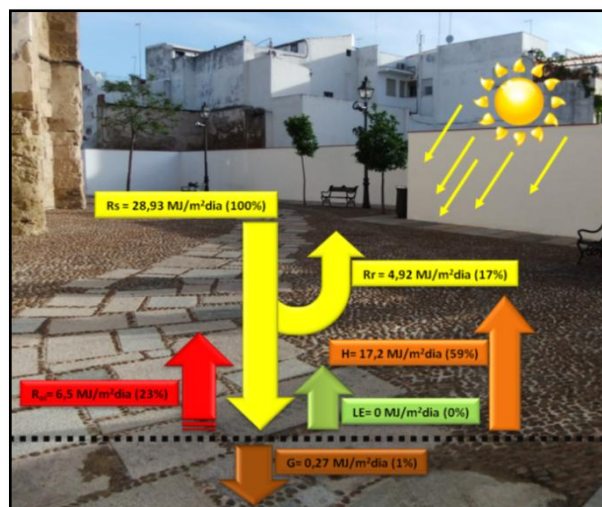


Ilustración 33. Esquema de la respuesta de un lugar urbanizado sellado y sin vegetación (escenario urbano U) a la radiación solar directa en el mes de julio en Córdoba. El 59% de la energía solar se transforma en calor sensible, energía que finalmente se invierte a calentar el ambiente.

El gráfico de la Ilustración 22 refleja el ciclo anual de conversión de energía solar directa (Rs) en calor latente de vaporización (LE) y calor sensible (H) en condiciones estándar de disponibilidad de agua (escenario V, Ilustración 32) y suelo urbanizado sellado (escenario U, Ilustración 33). Este tipo de gráficos son muy útiles para conocer el comportamiento diferencial de una zona verde respecto de otra sellada en función de la evolución climática interanual, correspondiendo el área en color naranja la cantidad de energía en exceso que el sistema urbano sellado transforma en calor y aumento de la temperatura ambiente.

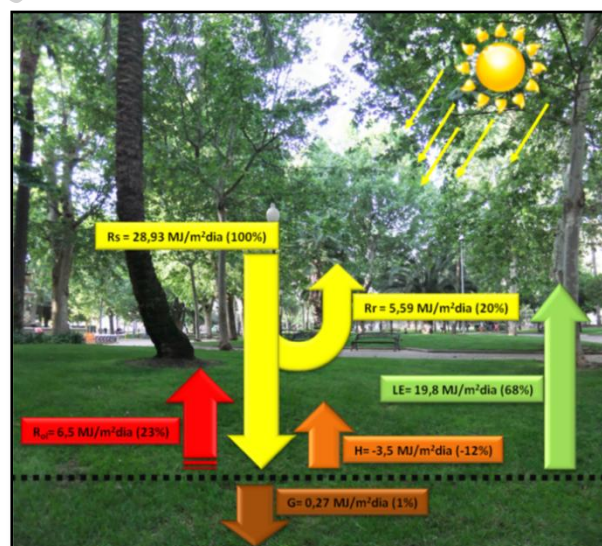


Ilustración 32. Esquema de la respuesta de un lugar ajardinado y con agua disponible (escenario urbano V) a la radiación solar directa en el mes de julio en Córdoba. El 68% de la energía solar se transforma en calor latente, es decir energía que se invierte evaporar el agua en el suelo y plantas (8 litros de agua por metro cuadrado y día). Esta situación crea un déficit o demanda de energía de un 12% que da lugar a la captura de energía del ambiente y por consiguiente la reducción de la temperatura.

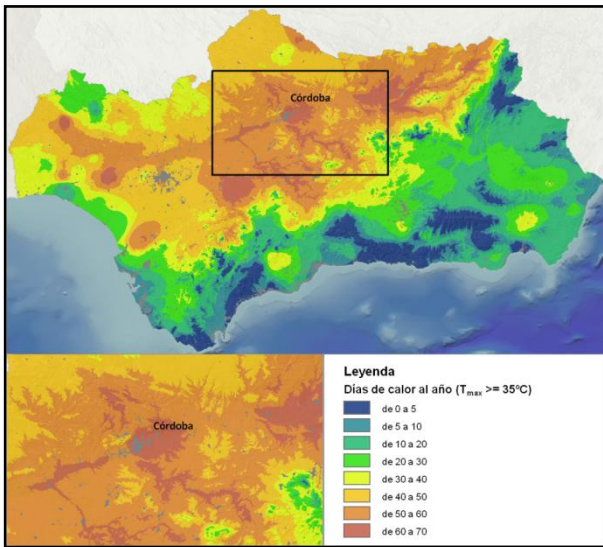


Ilustración 34. Número de días al año donde las temperaturas alcanzan más de 35°C. La ciudad de Córdoba se encuentra en una zona donde esta situación es frecuente. Fuente: Escenario Locales de Cambio Climático de Andalucía IPCC4. REDIAM.

Hasta este momento han sido expuestos los valores promedio para el conjunto del área de la ciudad de Córdoba, sin embargo, es muy importante tener en cuenta la proximidad de la ciudad a Sierra Morena, con cierto solape del casco urbano y piedemonte. Por su elevación pronunciada en corto espacio y exposición, el clima de la Sierra Norte de Córdoba, da un giro a *mediterráneo subcontinental de inviernos fríos*, donde se suavizan los veranos y se hacen algo más crudos los inviernos. Las laderas en solana que miran al Guadalquivir, aún conservan cierto carácter termófilo y escasez de heladas, algo muy importante para la vegetación. Aún así puede haber una diferencia de hasta -3°C entre la temperatura media de la Sierra y la ciudad. Esta diferencia es muy importante a la hora de formarse vientos locales durante la noche que aumentan la convección y alivian la temperatura de la ciudad, sobre todo en las zonas próximas de la ciudad a la Sierra durante el atardecer. Esta brisa también tiene un importante efecto de advección en zonas regadas donde se multiplica de manera importante la retirada de calor sensible acumulado por el día.

Eto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
litros/m <sup>2</sup> -día	40 mm	62 mm	97 mm	128 mm	164 mm	210 mm	239 mm	223 mm	167 mm	104 mm	59 mm	38 mm
	1.3	2.1	3.2	4.3	5.5	7.0	7.9	7.4	5.6	3.5	2.0	1.3

Tabla 1. Evolución mensual de la evapotranspiración de referencia de la ciudad de Córdoba en mm por mes y litros por metro cuadrado y día, según condiciones estándar del modelo de Penman-Monteith.

Las diferencia sustancial entre la temperatura de la ciudad y la Sierra no solo se debe a que nos encontramos en una área más elevada con cierta influencia del interior de la serranía, más continental y poblada de vegetación, también interviene la inversión estival de la *incidencia solar*<sup>22</sup> en el piedemonte con exposición a solana, y que ocurre desde mayo hasta agosto. Este es un interesante efecto que se produce en todas las zonas con geografía similar de piedemonte. En contra de lo

que se puede pensar, la zona de solana durante los meses estivales tiene un comportamiento semejante a las umbrías, donde la radiación solar casi vertical incide con menos intensidad que en las zonas llanas. A esto se añade una mayor disipación de la energía solar por radiación térmica, al aumentar la superficie real del relieve por unidad de superficie proyectada. Ambos factores dan lugar a que todo el cinturón serrano que rodea la ciudad de Córdoba se enfríe con mayor rapidez, creando un gradiente térmico que facilita la formación de vientos locales suaves. Este efecto puede mantenerse mientras el balance hídrico de la Sierra es positivo, situación que ocurre hasta el mes de junio o julio, según la zona.

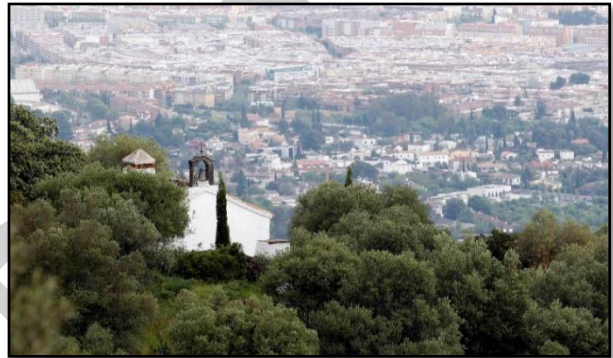


Ilustración 35. Primer plano Ermitas de la Sierra Morena de Córdoba. Al fondo Ciudad de Córdoba.

Las precipitaciones en la Sierra de Córdoba también aumentan sensiblemente, debido a que las masas de aire húmedo procedentes del atlántico se encuentran con la barrera orográfica que supone la Sierra, descargando las mismas con mayor cuantía en su zona de barlovento a medida que son obligadas a ascender. El resultado es un balance hídrico positivo al principio de la época estival que es aprovechado por la vegetación arbórea para refrescar el ambiente.

Respecto de las temperaturas máximas la ciudad de Córdoba se encuentra en una zona singular donde estas alcanzan los 35°C con una frecuencia de más de 70 veces al año, mientras que las nocturnas no bajan de los 22°C durante 3,05 días de media, temperatura máxima recomendable para descanso.

Todos los datos aportados en este capítulo están referidos al periodo climático de referencia 1961-2000. Hoy en día, tanto la realidad como la previsión indican una divergencia con este periodo de referencia, causado por lo que viene a denominarse de manera genérica Cambio Climático Global, y cuyas estimación de los efectos a lo largo del presente siglo serán abordados en un capítulo posterior denominado El Clima de Córdoba durante el Siglo XXI (3.4).

<sup>22</sup> En busca de Oasis Orográficos: <http://www.adaptaclima.eu/en-busca-de-oasis-orograficos/>

### 3.4 El Clima de Córdoba durante el Siglo XXI

Antes de dar una visión prospectiva de la evolución del clima de Córdoba en el presente siglo, es importante vislumbrar un panorama general de los climas de Andalucía y como estos van a transformarse a causa del cambio climático global. Con el fin de no saturar este capítulo, dicha perspectiva es facilitada con más detalle en el anexo 5.1 de este documento, y que está basado en el proyecto *Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía actualizados al 4º Informe del IPCC*.

En general, la nueva configuración climática estará conformada por una redistribución de los climas actuales marcada por el aumento de las temperaturas en un rango de 1.6 a 3.9°C, y la disminución de las precipitaciones de entre el 13 y 26%. La nueva redistribución de las unidades climáticas estará caracterizada por una proliferación muy acusada de la clase climática mediterránea subcontinental de veranos cálidos, concretamente el clima presente en la ciudad Córdoba, y que actualmente ocupa la parte alta del Valle del Guadalquivir. Esta proliferación va a tener un comportamiento expansivo, es decir, ocupará nuevas zonas mientras que va seguir permaneciendo en los lugares donde ya

existe, virando a su extremo más árido, con temperaturas más altas en todos los meses del año, y más seco, por la disminución de la precipitación y aumento de la evapotranspiración potencial, incrementándose el periodo estival en varios meses.

El más perjudicado será el clima mediterráneo subcontinental de inviernos fríos, colindante a la ciudad de Córdoba en su contacto con Sierra Morena. Actualmente es el más extenso, sin embargo, con el cambio climático pasará a un segundo plano, llegando a quedar como relicto en zonas de Sierra Morena. La costa mediterránea experimentará un importante incremento de días de calor, propio de la zona de influencia atlántica, mientras que el incremento de la aridez será la tónica general en el resto de grupos. El clima de montaña quedará reducido a las zonas más altas de Andalucía arrinconado por el clima subcontinental de inviernos fríos, el más perjudicado junto al subtropical. El carácter mediterráneo del clima andaluz no va a cambiar sino que se acentuará tanto en su amplitud como profundidad. La aridez se irá extendiendo desde las unidades bioclimáticas más áridas, ocupando el lugar de los enclaves frescos y húmedos, llegándose a producir una simplificación de la diversidad climática de Andalucía.

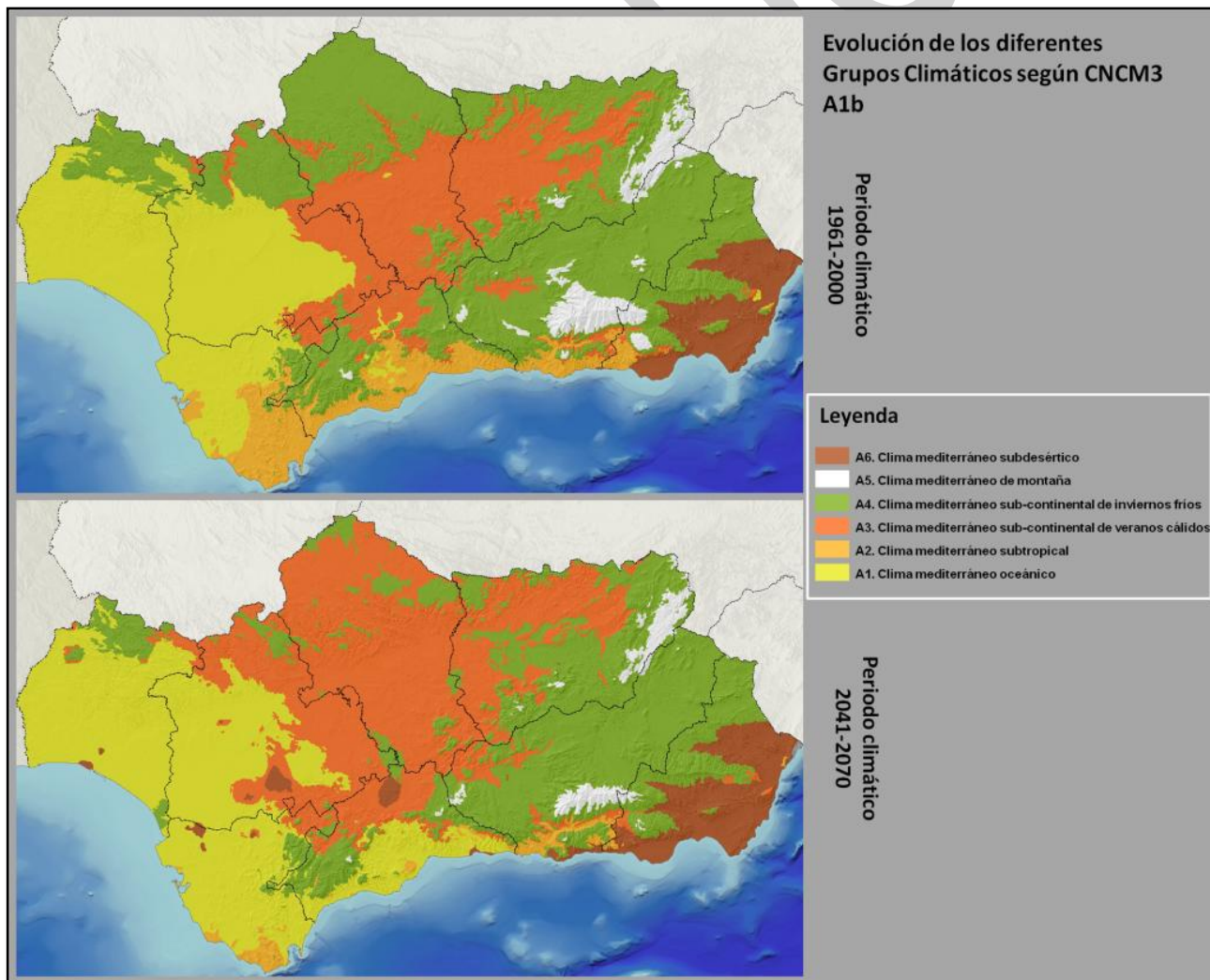


Ilustración 36. Evolución de las unidades bioclimáticas de Andalucía del periodo 1961-2000 al 2041-2070, según el modelo CNCM3 y escenario A1b. Más información en el anexo *El Clima de Andalucía del Siglo XXI* (5.1).

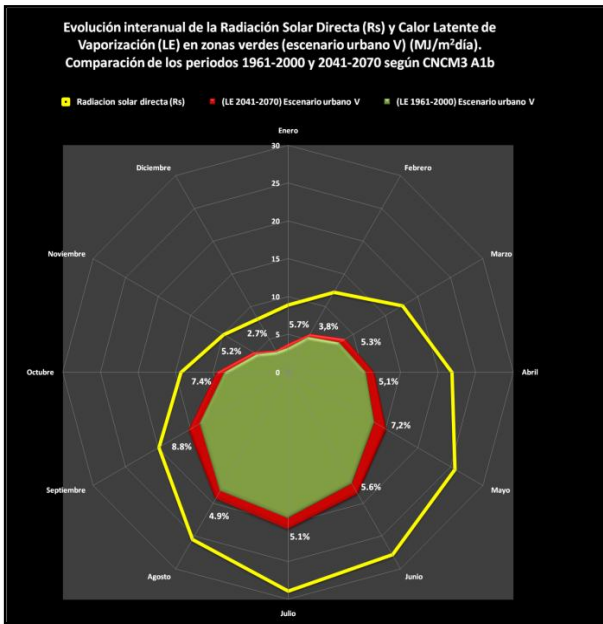


Ilustración 37. Evolución interanual en condiciones de cambio climático de la radiación solar directa en MJ/m<sup>2</sup>día y su reparto en calor latente de vaporización en zonas verdes (escenario urbano V) para los periodos 1961-2000 y 2041-2070. Las etiquetas en porcentaje representan el incremento porcentual de la energía destinada a la refrigeración por el aumento del calor latente de vaporización.

Si tomamos el modelo y escenario CNCM3 A1b como patrón intermedio de resultados ni muy pesimistas, ni muy optimistas, es muy probable que la clasificación climática de la ciudad de Córdoba no cambie de nombre. En el resto de modelos y escenarios ocurre igual, por lo que es una previsión muy robusta. Los climogramas de las Ilustración 37 y Ilustración 40 reflejan el proceso de aridificación de esta unidad climática. Los

inviernos serán más suaves (pasando de 9,6°C de temperatura media en enero a 12,8°C), bajando levemente el número de heladas de 7,6 a 6,0. El carácter más marcado del clima de Córdoba va acentuarse severamente, haciéndose los veranos más secos y calurosos, pasando de los 28,6°C de temperatura media actual a los 32,6°C en el mes de julio, y casi duplicándose los días de calor anual de más de 35°C de los 73 actuales a 128 en el periodo 2071-2099. El rango térmico medio mensual actual tiene un máximo de 18,4°C durante el mes de julio, pasando en el mismo mes a 19,8°C, por lo que también se vuelve más continental. Las temperaturas nocturnas medias superarán el máximo recomendado para el descanso (>21°C) durante los meses de julio y agosto, pasando de 3,05 a 26,03. El mes de mayo de Córdoba se convertirá en un actual junio, algo más lluvioso, pasando de los 20,1°C a los 24,9°C, mientras que el mes de junio y septiembre ostentarán el mayor incremento de temperatura, ascendiendo a 4,5 y 4,7 °C respectivamente. Las oscilaciones térmicas diarias en verano aumentarán 1,5°C, mientras que la precipitación pasará a 463 mm anuales de los 599 mm actuales.

La evapotranspiración de referencia anual actual de 1.530 mm pasará a 1.680 en el periodo 2041-2070 y de 1740 mm en el 2071-2099, con un máximo en julio de 260 mm (8,8 litros/m<sup>2</sup>-día). Este aumento de 150 mm para el primer periodo representa el incremento del 10% actual. El resultado es un efecto paradójico sobre el comportamiento de las cadenas de energía y disipación de la radiación solar, ya que ante un mismo flujo de radiación solar directa, el incremento de la capacidad de enfriamiento por evapotranspiración puede compensar el aumento de las temperaturas por el efecto del cambio climático en ecosistemas y jardines con disponibilidad

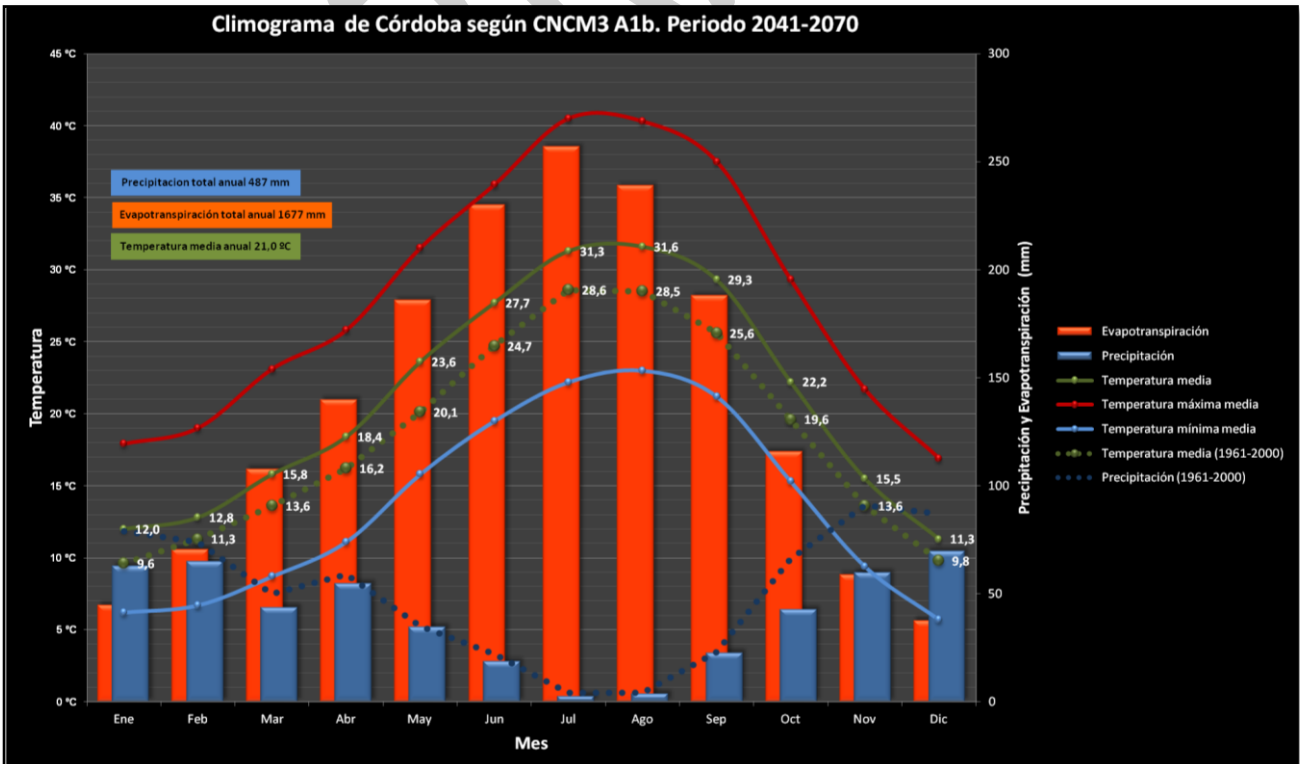


Ilustración 38. Climograma de la ciudad de Córdoba en el periodo climático 2041-2070, según CNCM3 A1b. En discontinuo las mismas variables en el periodo de referencia 1961-2000.

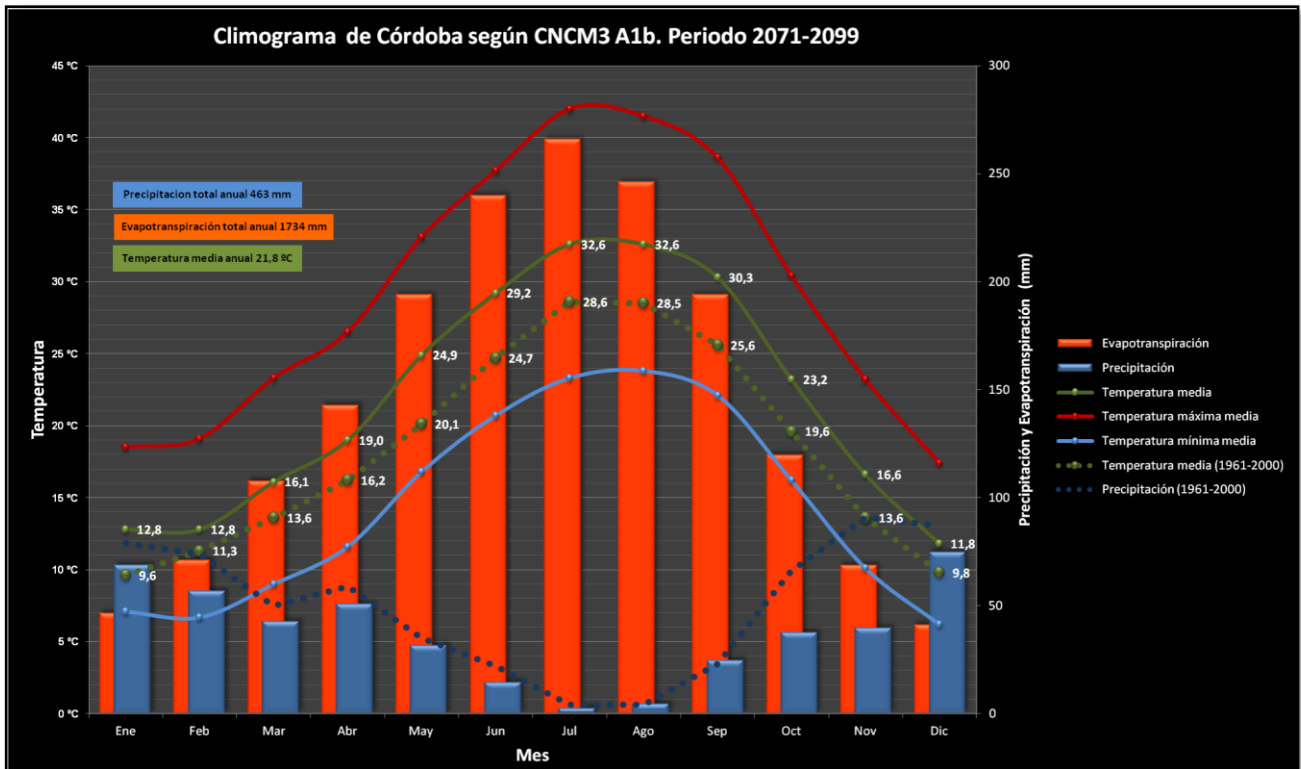


Ilustración 39. Climograma de la ciudad de Córdoba en el periodo climático 2071-2099, según CNCM3 A1b. En discontinuo las mismas variables en el periodo de referencia 1961-2000.

de agua, ya que desde el punto de vista energético, el calor latente de vaporización aumentará hasta 6 puntos, con máximos de 9 en el periodo estival, mientras que la inversión del flujo del calor sensible puede llegar hasta 3,5 puntos, con máximos de hasta 4,2 en meses de verano (Ilustración 38). En contrapunto, las zonas urbanas sin capacidad de transpirar (escenario urbano V), se prevé el aumento en 2,1 puntos en todo el año con máximos de 4 puntos en el periodo estival. Estos datos simulados pueden dar una idea de cómo puede ser el aumento del efecto de isla de calor en ciudades no adaptadas (Ilustración 39).

La ciudad de Córdoba está rodeada en su parte norte por el piedemonte de Sierra Morena, un cinturón verde de bosque y matorral mediterráneo con altos valores naturales, paisajísticos y de uso público. La parte alta de la ciudad se expande por esta zona, caracterizada por un clima más fresco, lluvioso y oscilaciones térmicas más acusadas. Como hemos visto, se trata del *clima subcontinental de inviernos fríos*, una unidad climática que va a ser desplazada por otras unidades más cálidas y áridas. Según CNCM3 y A1b en el periodo climático de 2041-2070, el *clima mediterráneo subcontinental* de veranos cálidos invadirá progresivamente la cabecera de la cuenca del Guadalquivir, actualmente ocupada por el *clima mediterráneo subcontinental de inviernos fríos*, aumentando del 19,4% de la superficie actual de Andalucía, al 31,8%, que pasa del 41,5% al 30,8%, retirándose a hacia zonas más altas ocupadas por el clima mediterráneo de montaña.

Justo superado el piedemonte la temperatura media anual es de 16,2°C, algo más de dos grados menos que en la ciudad. Se espera que la temperatura media anual de esta misma zona ascienda a 18,8°C en el pe-

riodo 2041-2070 y 19,7°C en 2071-2099, según CNCM3 A1b, es decir un incremento de 3,5°C para finales de siglo. Respecto del rango térmico medio mensual el máximo es de 17,4°C durante el mes de julio, pasando a 19,4°C el mismo mes. La temperatura media mínima del mes agosto superará los 21°C. También se espera una disminución acusada de la precipitación de más del 23% para finales de siglo.

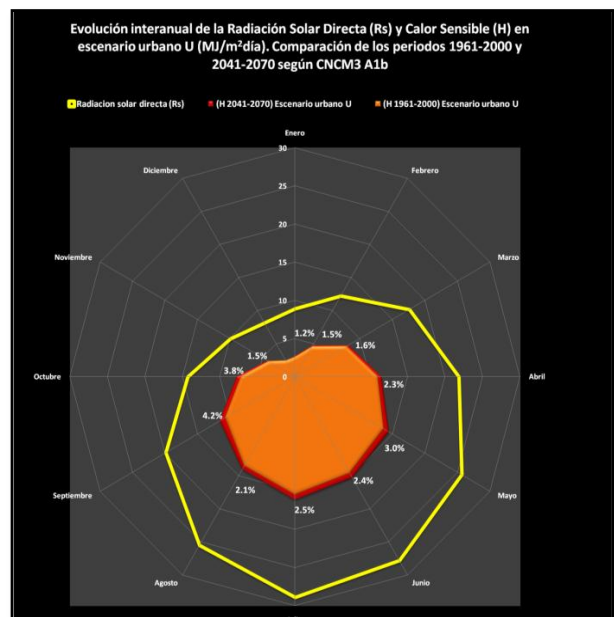


Ilustración 40. Evolución interanual de la radiación solar directa en MJ/m² día e incremento del calor sensible en escenario urbano V por el cambio climático. Las etiquetas en porcentaje representan el incremento de calor sensible por causas del cambio climático.

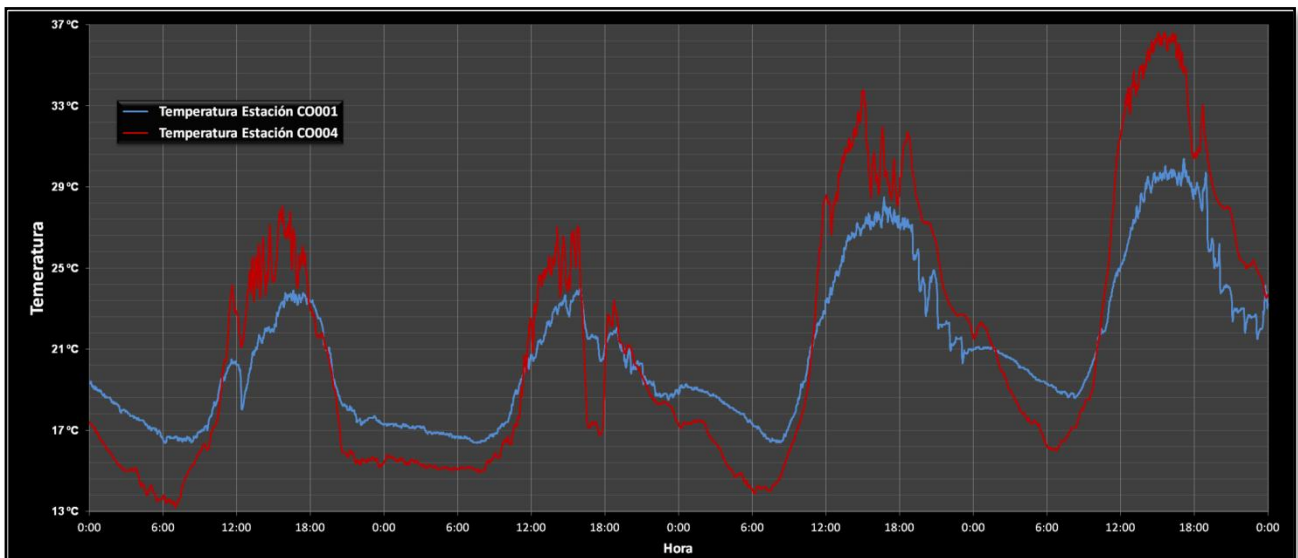


Ilustración 41. Muestra del comportamiento de la temperatura en dos estaciones, una situada en el centro de la ciudad de Córdoba (CO001) y otra en el piedemonte (CO004). Los días elegidos corresponden al mes de junio, correspondiendo los dos primeros a días nublados con lluvias ocasionales, y los dos siguientes a soleados.

Sin embargo, el cinturón verde de la ciudad de Córdoba situado en el piedemonte de Sierra Morena, es una zona de ecotono entre ambos climas con unas características especiales, ya no solo por ser transición entre uno y otro, también por las peculiaridades de su relieve. La Ilustración 41 es una muestra del comportamiento estival diferenciado de la temperatura diaria entre el centro de la ciudad de Córdoba (Estación CO001) y la zona urbana en el piedemonte (Estación CO004), ambas en escenarios urbanos semejantes (escenario urbano V). La temperatura media aun siendo prácticamente equivalente,  $0.3^{\circ}\text{C}$  mayor en el piedemonte, la media de las diferencias absolutas es de casi  $2.5^{\circ}\text{C}$ ,  $3.1^{\circ}\text{C}$  para las positivas (horas centrales del día más cálido en el piedemonte) y  $1.9^{\circ}\text{C}$  para las negativas (horas nocturnas del día más frío en el piedemonte). En esta zona es difícil pronosticar los efectos del cambio climático, no obstante, partiendo de que el efecto del relieve sobre la radiación y el clima local no van a cambiar, es de esperar cambios en el mismo sentido y proporción que la ciudad.

Por último, la tesis de este trabajo se basa en el uso del agua como recurso renovable para la adaptación de ciudades como Córdoba a las severas condiciones climáticas estivales. Como hemos visto, estas condiciones van a empeorar a causa del cambio climático global, lo que pone de manifiesto la urgencia requerida para la adopción y puesta en marcha de las conclusiones que pudieran obtenerse de este proyecto. Sin embargo, el análisis es incompleto si no se aporta una perspectiva aproximada de cómo puede afectar el cambio climático al abastecimiento del agua. Este es un análisis complejo, ya que dicho abastecimiento se realiza gracias a la recarga de embalses y acuíferos, y su correspondencia no solo está relacionada con la disminución de la precipitación en las cuencas de captación, que es el único dato que hasta ahora aportan los escenarios locales de cambio climático. De esta forma, si nos fijamos en los embalses, es de esperar que la disminución de la precipitación provoque la disminución de la recarga, sin embargo, esto puede compensarse con el

aumento previsto de la torrencialidad, es decir, aunque la precipitación media sea menor, si esta se concentra en pocos días es posible que aumente la escorrentía, fenómeno que beneficia a los embalses de la Sierra de Córdoba situados sobre terrenos no acuíferos. No ocurre igual con la recarga de los acuíferos, que estará doblemente afectada por la disminución de la precipitación y aumento de la escorrentía. A la espera de estudios más completos, solo es posible aportar el porcentaje de disminución del recurso agua en cuencas receptoras cercanas a la ciudad de Córdoba, como el embalse de San Rafael de Navallana, donde se estima una pérdida del 15% de este recurso.



Ilustración 42. La cosecha de agua de un embalse depende de multitud de factores relacionados con la cantidad y frecuencia de las precipitaciones, tipo de suelo, cobertura vegetal y existencia de acuíferos.

### 3.5 Clima, energía y cambio climático

La demanda energética en edificaciones con el fin de crear un hábitat confortable está muy relacionada con el clima. Esta correspondencia también se establece en el ámbito de la movilidad, no por el consumo extra de energía con el fin de climatizar el habitáculo del vehículo, sino más bien por el aumento del uso de este como medio de evitar un ambiente que se aleja del estándar de confortabilidad.

A pesar de que existen otros factores que entran a formar parte en la correlación entre clima y demanda energética, como son la eficiencia energética, conciencia medioambiental, etc. es de prever que el proceso de calentamiento global cambiará considerablemente esta relación, disminuyendo las necesidades de calefacción y aumentando las de refrigeración. Al constituir dos procesos contrapuestos, responder a la pregunta obvia de cuál será el resultado neto no es precisamente una tarea sencilla, ya que la intrincada y compleja distribución climatológica de Andalucía, junto al abanico de cambios previstos según los diferentes escenarios de cambio climático, complican extraordinariamente un estudio de estas características. En este sentido, y en lo que respecta al gasto energético en edificios, podemos contar en este capítulo con el apoyo de estudios como el expuesto en el artículo científico denominado "L'impact du changement climatique sur les besoins de climatisation en Andalousie À des Échelles de détail"<sup>23</sup> (Marzo-et al, 2014<sup>vii</sup>), basado a su vez en los ELCC del 4º Informe del IPCC (modelos CNCM3 y ECHAM5 para los escenarios de emisiones A2 y B1).

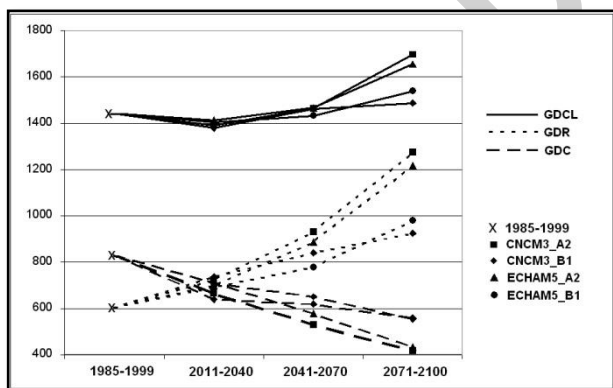


Ilustración 44. Evolución de GDC, GDR y GDCL para el periodo 2011-2100 en Andalucía. Fuente: (Marzo-et al, 2016).

En este estudio, las necesidades de climatización (GDCL)<sup>24</sup> se definen como la suma de las necesidades de refrigeración y calefacción, para lo que es usado las variables: grado-día refrigeración (GDR) y grado-día

calefacción (GDC) respectivamente, pues estos indicadores muestran una relación con la demanda energética (Valor et al, 2001; Christenson et al, 2006).

Actualmente, se estima que Andalucía requiere 1.436 grados-día de GDCL acumulados de media anual, como suma de las necesidades potenciales de calefacción (831,6 GDC) y los de refrigeración (604,4 GDR) (Ilustración 44). En el transcurso del siglo XXI se estima que las necesidades de climatización, después de una ligera bajada durante periodo de 2011-2040, aumentarán significativamente durante la última treintena de siglo. Esta evolución será el resultado de una fuerte subida de los GDR que no será compensada por la bajada de los GDC. El resultado final es una subida de las necesidades potenciales de climatización para la treintena 2070-2100 de un 3,3% en el mejor de los casos (CNCM3 B1) y de un 17,8% en el peor (CNCM3 A2). Esta evolución estará así caracterizada por el aumento de la importancia del papel jugado por las necesidades de refrigeración con relación a las necesidades de calefacción a partir de la segunda treintena del siglo XXI (Ilustración 46).

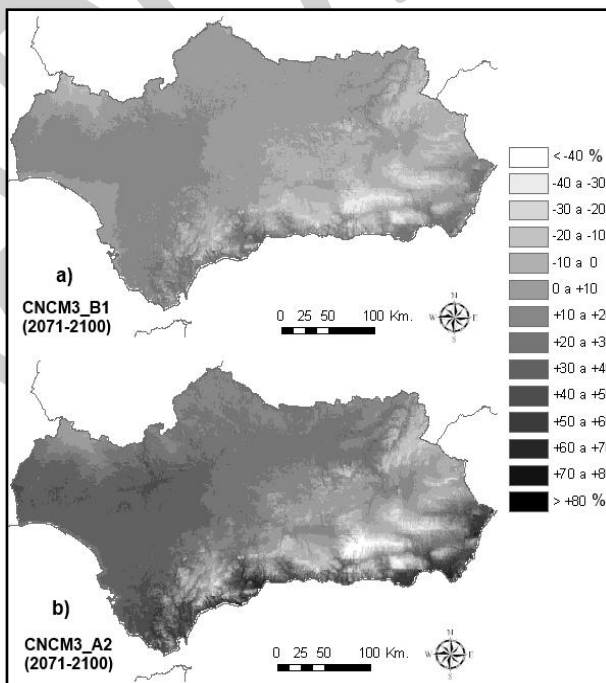


Ilustración 43. Tazas de cambio de GDCL para las proyecciones de CNCM3 B1 y CNCM3 A2 en el periodo climático 2071-2100. Fuente: (Marzo-et al, 2014).

Estos datos medios tienen una distribución muy heterogénea en el territorio andaluz, estando referidos al ámbito general de Andalucía, por lo que su traducción al consumo de energía no es real, por no encontrarse centrados en los núcleos de población. Como generalidad, se puede decir que en ambos escenarios, los territorios más afectados por el aumento de la demanda energética son los situados por debajo de los 1.000 metros de altitud, debido a que las necesidades de refrigeración, ya de por sí muy elevadas actualmente, sufrirán una subida considerable. Sin embargo, los territorios con mayor elevación disminuirán el consumo de energía para la calefacción, sin sobrepasar el umbral que activa mayor demanda de refrigeración (21°C).

<sup>23</sup> Este estudio evalúa las variaciones espacio-temporales sufridas por las necesidades de climatización en Andalucía en el contexto de cambio climático a partir de la comparación de los grados-día de climatización actuales y los previstos para finales del siglo XXI.

<sup>24</sup> La variable grado-día calefacción / refrigeración cuantifica la diferencia entre la temperatura ambiente representativa de un día y una temperatura de referencia considerada como que a partir de la cual no hay necesidad de climatización. En el estudio indicado los umbrales han sido fijados en 14 y 21°C respectivamente.



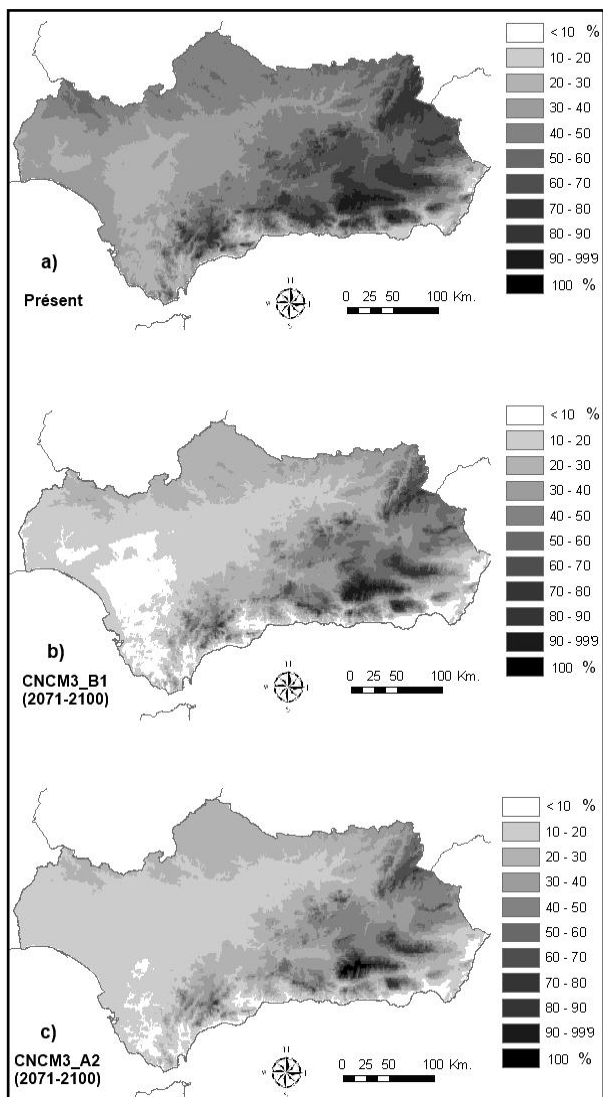


Ilustración 45. Porcentaje de DJC sobre los DJCL: a) actual; b) según la proyección CNCM3 B1 (2071-2100); c) estimada para la proyección CNCM3 B1 (2071-2100).

También se extrae de los resultados de este estudio, que los mayores incrementos de demanda energética se producirán en las ciudades cercanas a la costa mediterránea, ya que estas arrancan con una escasa demanda de calefacción que no compensa los aumentos de refrigeración por bajos que estos sean.

En lo que respecta a la ciudad de Córdoba las necesidades de climatización aumentarán a finales de siglo en todos los casos con un porcentaje de entre el 10 y el 20% en el escenario optimista (CNCM3 B1) y entre el 30 y 40% en el más pesimista (CNCM3 A2). Este aumento sustancial será como consecuencia del importante incremento de entre el 40 y 85% de las necesidades de refrigeración, no acompañando lo suficiente por la disminución de la demanda de calefacción, dado que en el mejor de los casos el aumento de la temperatura media invernal no supera los 14°C del umbral establecido.

La traducción de esta demanda de climatización a energía consumida dependerá en gran medida de las características de la edificación y la eficiencia energética

en lo que respecta a los materiales de construcción y sistema de climatización. Las medidas de mejora de la eficiencia energética son indispensables tanto en el contexto de mitigación y adaptación al cambio climático, como del incremento del coste de la energía. Sin embargo, no todo el peso de la adaptación puede recaer sobre la mejora de las condiciones internas de edificios, mientras que el espacio público abierto al exterior queda expuesto al rigor climático. Por un lado, estos datos vienen a ahondar seriamente los problemas de pobreza energética en muchos hogares, así como la disminución de la competitividad de las empresas. Por otro, contemplar un escenario de estas características significaría enclaustrar la vida del ciudadano a lugares cerrados, a las horas nocturnas del día o la trasterminancia hacia zonas de costa o montaña, mientras que desde el punto de vista de la economía asociada al turismo sencillamente no es solución. Finalmente, los altos costes fijos de una solución tecnificada con alta eficiencia energética y con amplio recorrido social es una medida subsidiaria solo sostenible con subvenciones continuas, mientras que el empeoramiento del clima urbano hace menos eficientes las inversiones destinadas a ellas. De esta manera, la adaptación al clima y al cambio climático debe realizarse a diferentes niveles, recayendo el peso más importante sobre el propio diseño de la ciudad.



Ilustración 46. La relación entre la demanda energética y la variable de grados-día de climatización se encuentra íntimamente relacionada con el grado de eficiencia energética del edificio y de la instalación de climatización.

### 3.6 Perspectiva historia del jardín occidental y el clima

Los primeros jardines creados por el hombre se remontan a los primitivos asentamientos neolíticos de la Edad de Bronce, en el periodo 3.500-3.000 a.C., en la Antigua Mesopotamia (actual Irak), entre los ríos Tigris y Éufrates. Los habitantes de estas primeras ciudades incorporaban en sus hogares un espacio abierto con un pozo, fuente o alberca, rodeado por las habitaciones de la vivienda, a las que daba iluminación, aireación, abastecía de hortalizas, y como ha sido expuesto en capítulos anteriores, el confort climático procedente de la evapotranspiración del agua en suelo y plantas. Nos encontramos en un clima estepario y subdesértico, de veranos cálidos, donde no es posible cultivar si no fuera por el agua de los ríos que descienden de las montañas.



Ilustración 47. Reproducción idílica de los Jardines Colgantes de Babilonia, en la Baja Mesopotamia a orillas del Éufrates actualmente provincia iraquí, y que el rey Nabucodonosor II (605-562 a.C.), ordenó construir para su esposa (princesa meda Amysis).

Este tipo de jardín marcará desde su origen a todos los jardines de la cuenca del Mediterráneo y de Oriente Próximo, poseyendo todos un carácter común marcado por el clima, cultura, forma de vida y creencias, buena parte de raíces abrahámicas, donde el *Paraíso* o *Jardín del Edén* descrito en el *antiguo testamento*, sirve de base espiritual para la creación de los jardines terrenales.

El significado más universal de jardín en las diferentes civilizaciones donde apareció se refiere a un lugar cercado en cuyo interior crecen plantas. Esto ocurre incluso en el jardín oriental, donde *“shima”* en japonés significa *“trozo de tierra vallada tomada de la naturaleza”*. *“Hortus”* en latín tiene equivalente significado, aunque en este caso lo usaban los romanos en origen para designar a una superficie de tierra cercada con plantas comestibles o aromáticas. A la península Ibérica llega la palabra *“jardín”* en el siglo XV procedente de Francia, *“jart”* en francés antiguo, al igual que en Alemania *“garten”*, Italia *“giardino”* e Inglaterra *“garden”*.

En hebreo jardín y paraíso son la misma palabra. La asociación de paraíso y lugar acotado con plantas y agua es una constante en todas las civilizaciones desarrolladas en climas áridos de la zona, donde existe una fuente importante y constante de agua. El desarrollo y perfección de los sistemas de riego no solo son puestos

en práctica por la agricultura para abastecer de alimentos, sino también en el urbanismo, permitiendo incorporar jardines en las viviendas, mejor o peor provistos en función del nivel adquisitivo del propietario. Para la ciudad en conjunto, los grandes jardines eran un distintivo de riqueza y supremacía. De esta forma, nos encontramos en un punto donde arte, cultura, religión y necesidad se hacen indivisibles a la hora de justificar el gran desarrollo de los jardines de la época, tales como los Jardines Colgantes de Babilonia (Ilustración 47), una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo hecha realidad gracias al refinado conocimiento de las técnicas de riego y el cultivo de plantas.

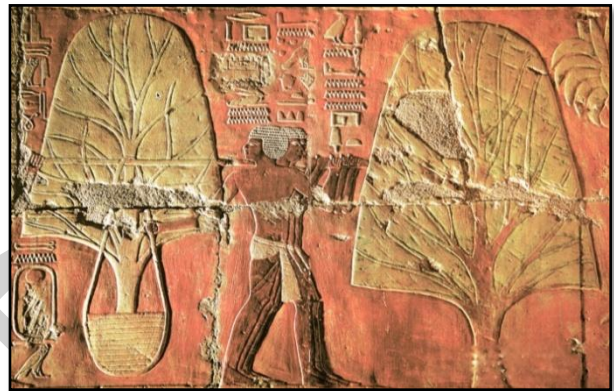


Ilustración 48. Árboles de Mirra transportados hacia los jardines del Templo de Hatshepsut. Según las inscripciones al pie, se trasladaron 31 árboles de la región de Hunt en un barco hasta Egipto. También se describe como se cavaba al pie del árbol para desenterrar todo el cepellón de raíces con sumo cuidado, se elegían las raíces más convenientes para su supervivencia, y después se metían en cestas con buen sustrato para su transporte en barco hasta Egipto.

Los primeros jardines de la humanidad de los que queda documentación, se construyeron en Antiguo Egipto, una extensa tierra desértica surcada por el río más largo del mundo: el Nilo. Casi la totalidad de las aguas del Nilo proceden de cuencas situadas en su cabecera. Egipto no hubiera podido existir sin el agua que le proporcionaba este río, y de hecho toda la actividad se concentraba en la pequeña franja de territorio que podía acceder a sus aguas con la tecnología del momento. De ello dependía la producción agrícola y habitabilidad de los pueblos y ciudades.

Se sabe con gran detalle por los planos de jardines, pinturas en muros, relieves esculpidos en las paredes y maquetas de tumbas y templos, y de los estudios palinológicos más recientes, que los antiguos egipcios tenían un gran conocimiento y dominio generalizado del cultivo de plantas y construcción de jardines. En el hogar más humilde se disponía de un pequeño huerto o patio con macetas y plantas. En la tumba de Meket-Rê (XIª dinastía del 2.000 a.C.) se encontró una maqueta representando un patio tripartito con el mismo patrón de los que encontraremos con posterioridad en los jardines medievales de *al-Ándalus*<sup>25</sup>. Por consiguiente, se puede

<sup>25</sup> Esta maqueta se encuentra actualmente en el Museo Metropolitano de Nueva York. Representa una vivienda lujosa, cuyo patio consta de tres partes: dos hileras de cuatro columnas papiriformes, y un jardín con un estanque, rodeado de árboles (sicomoros).

asegurar que al menos en el año 2.000 a.C. los patios de estilo tripartito ya existían en toda la zona de Egipto.

Los jardines son poco propensos a perdurar. Necesitan cuidados continuos, y tras su abandono se degradan rápidamente, sobre todo si el cultivo es en maceta. De ellos solo suelen quedar los elementos inertes de fábrica, y en muchas ocasiones son engullidos por las edificaciones. Apenas quedan algunas ruinas de lo que fueron los jardines del Antiguo Egipto y Mesopotamia, por lo que es imprescindible apoyarse en los escasos documentos escritos para saber cómo eran estos.

Se sabe que desde el 2.000 a.C. los patios de los palacios mesopotámicos incluían jardines muy parecidos a los de Egipto. Es conocido que Darío el Grande (Antigua Persia) ostentaba magníficos jardines al estilo mesopotámico, con estanques, muchas flores y árboles, emparrados y pabellones de descanso. Se dice que Nabucodonosor II fue el que construyó los jardines colgantes de Babilonia hacia el 600 a.C., aunque muy poco se conoce de ellos, ni siquiera su ubicación exacta.

En la tumba de *Sennefer* del 1.410 a.C. se encontraron los planos de jardines de la antigua Tebas. Son jardines con una lámina rectangular de agua, como eje central de simetría, repleta en su interior de fauna acuática de todo tipo, flores de loto y nenúfares. Alrededor de este estanque se situaban todo tipo de vegetales, entre ellos arboles como el sicomoro, palmeras y acacias. Otros jardines que han llegado a conocerse, se distribuían alrededor del agua de semejante forma, pero en diferentes niveles o terrazas, como son los del templo de la reina *Hatshepsut*, la mujer más poderosa de Egipto (1.473-1.458 a.C.).

En el Egipto de los faraones, la jardinería llegó a tener tal trascendencia que era habitual organizar expediciones para traer plantas de lugares lejanos, incluso arboles ya desarrollados, donde debieron contar ya en esta época, de una técnica refinada de algo parecido al escayolado de arboles actual (Ilustración 48).

La siguiente civilización que siguió enardeciendo el original jardín mesopotámico, fue la Antigua Persia. A partir de *Ciro II el Grande* (575-530 a.C.), el Imperio Persa no solo mejoró este tipo de jardinería, sino que también la difundió en el espacio y tiempo, por la extensión que adquirió durante su esplendor, y por la asimilación de su arte y cultura por civilizaciones posteriores como la griega, o el nacimiento del islán y su posterior expansión. Los jardines persas constituyeron así las bases del diseño de todos los jardines formales de la cultura de oriente medio y todo occidente, entre ellos los jardines de *al-Ándalus*.

Excavaciones arqueológicas en *Pasargadas* (Irán), han mostrado algunas de las características de estos jardines ordenados en crucero, cuya estructura consistía en cuatro cuadrantes, con un eje de simetría longitudinal y otro transversal, acompañados de paseos y canales de agua. En los palacios, donde la extensión del jardín era muy grande y el relieve no nivelado, este se cercaba con un gran muro y se salvaba el desnivel mediante terrazas donde el agua circulaba de una a otra por gravedad. Albercas, fuentes, cenadores y todo tipo de vegetales con portes variados, se disponían ordenada-

mente en una estructura en cuarteles, delimitados por acequias. Las terrazas se comunicaban mediante escaleras amplias y suaves, y las especies más sobresalientes eran cipreses, plátanos, naranjos, mirtos, lentiscos, madroños, granados, adelfas y rosales. Las vistas del jardín de *Ciro el Grande*, según narra *Jenofonte*, tenían la peculiaridad de perderse en el horizonte y paisaje natural colindante sin que ningún elemento arquitectónico o natural lo apantallase.

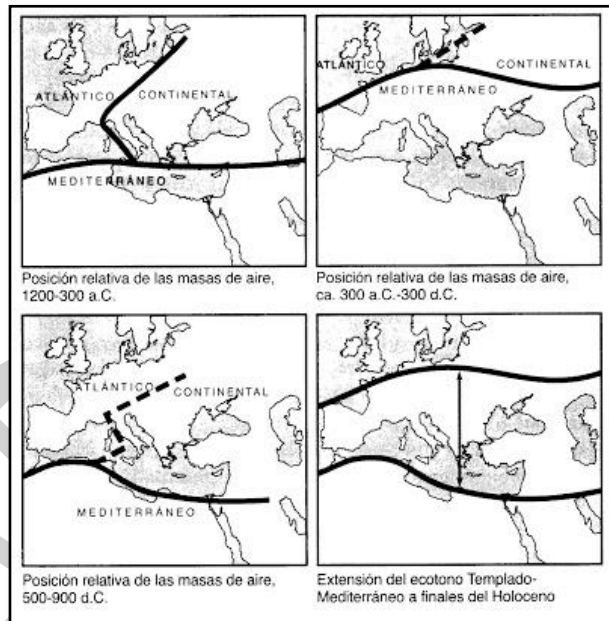


Ilustración 49. Distribución de los tres grandes climas, Atlántico, Continental y Mediterráneo en tres periodos diferentes según "Regional Dynamics. Burgundian Landscapes in the Historical Perspective - Carole Crumley y William Marquand". El periodo comprendido entre el 300 a.C. y 300 d.C. es denominado como "óptimo climático romano", coincidiendo con la hegemonía de dicho imperio.

Las *Guerras Médicas* entre el Imperio Persa y las ciudades estado griegas en el 499 a.C., finalizan dos siglos después con la conquista y disolución del *imperio aqueménide* por Alejandro Magno. No obstante este final no impide que el desarrollo alcanzado por este imperio no se trasmita a sus conquistadores, creando junto con la egipcia, la gran cultura helenística. Hasta ese entonces los jardines griegos eran extensiones naturales donde se extendían ciertos elementos arquitectónicos y estatuas que acondicionaban el monte al paseo, contemplación, descanso o rezo a los muchos de sus dioses. De esta manera, los griegos comenzaron tardíamente a crear jardines tras la asimilación de otras culturas.

En la Antigua Grecia, es *Epicuro* el primero en crear un jardín dentro de la ciudad. Maestro del ocio, fue también el primero de Atenas que estableció el uso de los jardines de recreo, haciendo una costumbre vivir el campo dentro de la ciudad, un concepto más ligado a la esencia de los jardines orientales.

La conquista del Imperio Persa abrió una nueva etapa cultural en la Antigua Grecia (desde el 330 a.C. hasta el 30 a.C.), donde el jardín griego influenciado por lo que ve en los territorios ocupados, alcanzara su mayor esplendor y gloria. Son creadas las casas de campo y teatros rodeados de jardines, y parques públicos con

arbolado en los que se celebraban reuniones políticas, académicas y filosóficas. Los patios pasan a formar parte de la vivienda privada. Rodeados de columnas, están constituidos por jardines ordenados en torno a un eje central y laterales simétricos, con más elementos arquitectónicos que vegetales.

La exigua cultura romana queda prendada de la helenística tras la conquista de Grecia en la batalla de Corinto en el año 146 a.C. Como ya adelantábamos, Roma ni siquiera tenía una palabra para designar al jardín. Sin embargo, copiaron y engrandecieron los diseños que encontraron tras la ocupación de Grecia, difundiéndola en todo su imperio y asentando las bases de la jardinería en todo occidente. Roma hace suya la jardinería griega: el parque público de diseño ordenado, el parque sagrado de diseño natural, y el patio de las grandes mansiones rurales y casas privadas. Sin embargo, a diferencia del patio griego, un espacio abierto adherido al núcleo del edificio donde predomina la escultura y los elementos arquitectónicos inertes, para el romano constituye el núcleo central sobre el que gira y se integra toda la vivienda, con un predominio de los elementos vegetales sobre los pétreos.

Nuevamente el patio adquiere la esencia de su origen, y es que en estos momentos nos encontramos en un periodo climático singular denominado precisamente “*óptimo climático romano*”, y que abarca el periodo comprendido entre el 300 a.C. y 300 d.C. El *óptimo climático romano* se caracteriza por ser un periodo de tiempo extraordinariamente caluroso, de la misma forma que lo fue también el *óptimo climático medieval* comprendido entre los años 900 y 1400 d.C. La reconfiguración climática durante esta época llevo al clima mediterráneo hasta muy al norte de Europa occidental (Ilustración 49), lo que daba ventaja al sistema agrícola romano, más adaptado a su origen mediterráneo, y consistente en una producción extensiva de pocas cosechas que abastecían a grandes poblaciones humanas, en contrapunto al sistema de sus competidores al norte: los celtas, con una agricultura en mosaico, variada, de poca extensión y con pastoreo intercalado, más apropiado para periodos de clima frío e incierto, y cuyas poblaciones a las que aprovisionaba no iban mucho más allá de un poblado. La adaptación de los sistemas agrícolas a diferentes climas y las fluctuaciones climáticas acontecidas alrededor del 300 a.C., están muy correlacionadas con las mareas de ocupación celta del sur de Europa, que llegaron incluso a poner cerco a Roma en el 391 a.C. (Ilustración 49), hasta la posterior y espectacular hegemonía del Imperio Romano, que conquista Grecia y hace retroceder los estados celtas de Francia. Antes del cambio de era, toda la región del Mediterráneo y Europa Occidental estaba en manos de Roma, siguiendo una distribución muy acorde con la frontera del clima mediterráneo de aquel entonces.

En este punto, podemos entender que realmente los griegos habían copiado de los persas la vivienda patio, como un estilo artístico y espiritual, desprendiéndose de las ventajas del bienestar microclimático que aportaba a la vivienda. Grecia tiene en los momentos de su hegemonía un clima más propio del centro de Europa. Sin embargo, Roma prospera como una civilización más adaptada al clima mediterráneo, con un sistema

agrícola acorde para sustentar una economía de escala con grandes urbes bien organizadas, y una capacidad adaptativa de la vivienda que vuelve a transformar al patio griego en los originales patios jardín de la antigua Mesopotamia.

De esta forma, el patio romano aún teniendo las bases del griego, se hace más refinado, más elaborado y rico en su concepción y desarrollo, pero lo más importante es que pasa a ser el núcleo integrador donde se desarrolla el *domus romano*, constituyendo el eje central del desarrollo de la vida íntima y pública de la casa. Roma, entre las clases nobles, adquiere y pone de moda el gusto por el jardín en la ciudad, se trata de llevar parte de la vida rural a Roma capital, pero sobre todo hace habitable una ciudad que se desarrolla en un clima mediterráneo creciente, más austero, cálido y seco de lo habitual.

La grandeza de los jardines romanos llega a todo su imperio. De esta manera, el patio romano y el resto sus jardines llegan a la península Ibérica a partir del año 197 a.C., donde se establecen dos provincias, una en el norte o Tarraconense con capital en Tarraco (Tarragona) y otra en el sur, con la capital en Córdoba.

Tras un periodo brillante de más de 500 años, el invierno llega a Roma con la finalización del “*óptimo climático romano*”. Efectivamente, muy ligado el destino del Imperio Romano al clima mediterráneo, Occidente cae en el 476 d.C tras muchos años de guerras. Parece ser que el sistema agrícola celta vuelve a ser ventajoso con la retirada del clima mediterráneo al norte de África, en un periodo que comprenderá del año 500 a 900 d.C., y que también se verá interrumpido con otro periodo cálido: “el *óptimo climático medieval*”. De esta forma, las invasiones de los Godos, tribus germánicas, formadas por vándalos, suevos y alanos, llegan a la península Ibérica, aunque no eran sino los primeros en llegar y de paso, ya que poco después son empujados al norte de África por los Visigodos, también germánicos.

Con la capital en la ciudad de Toledo, el reino visigodo durará solo dos siglos, dejando una pobre huella en todos los sentidos<sup>26</sup>, también en la jardinería. Adoptan las propiedades y costumbres romanas aceptando al pueblo conquistado, los hispanorromanos, con los que no se mezclaban. En el año 711 d.C., los musulmanes entran desde el norte de África y ponen fin al corto reinado de Roderico.

Para entender lo ocurrido, hay que remontarse un siglo antes, donde el profeta árabe Mahoma, funda la religión musulmana, instaurando desde la Meca el Islam en toda Arabia. Los Califas Omeyas, sucesores de Mahoma, conquistan entre el 633 y el 645 las regiones que

<sup>26</sup> En la arquitectura hicieron una importante aportación con el arco de herradura, simple y también compuesto, eran maestros en la orfebrería, creaban bellísimas piezas sobre todo en oro. En cuanto a las costumbres y maneras de construir jardines, siguieron primando las ya desarrolladas por los romanos.

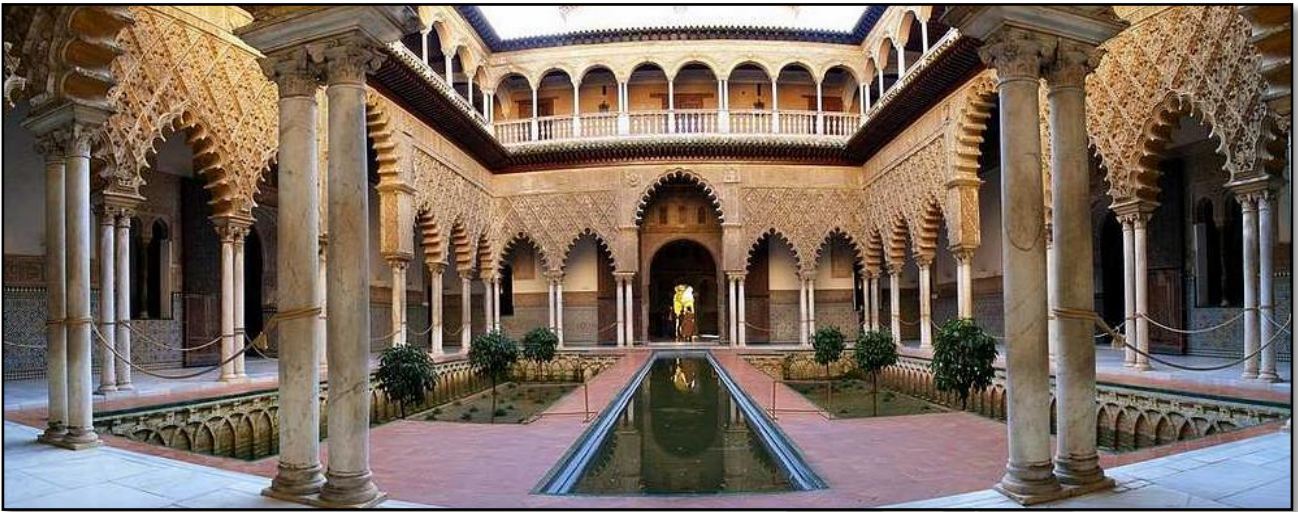


Ilustración 50. Alcázar de Sevilla, ejemplo de jardín medieval de *al-Ándalus*.

hasta entonces eran del Imperio Bizantino (los restos del Imperio Romano en oriente) entre los que destaca toda Persia, Egipto, Siria, Palestina, Armenia y casi todo el norte de África, poniendo sus miras en la península Ibérica. En este punto, las luchas internas de los visigodos tras la muerte del rey Witiza, derivan en la ingenua invitación a los ejércitos musulmanes a entrar en la península para ayudar a derrocar a Roderico y poner en su lugar a Aquila II. Las primeras tropas musulmanas entran por Gibraltar en la primavera del 711, y en el 718 toda la península estaba tomada por los musulmanes, a excepción de las zonas nórdicas montañosas pobladas por vascones y astures.

El *óptimo climático medieval*, vuelve a instaurar el mediterráneo en regiones del sur de Europa, llevando consigo la conquista por parte de los musulmanes del territorio que a partir de ahora se llamará *al-Ándalus*, con capital en Córdoba, trayendo consigo toda la riqueza acumulada durante más de tres mil años. Los jardines de la antigua cultura de Egipto, Mesopotamia, Persia y los jardines del Imperio Bizantino, vienen ahora de la mano de los musulmanes, que a la vez encuentran en la península la riqueza de los jardines romanos de Hispania y el arco de herradura visigodo.

*Al-Ándalus* se instaura en el sur de la península Ibérica durante casi ocho siglos. En este periodo se viven momentos extraordinariamente prósperos en muchos aspectos, en contraste con el escenario histórico del resto de Europa, inmerso en la oscuridad de la Edad Media. La jardinería vive uno de los momentos más esplendorosos de su historia con los legendarios jardines medievales de *al-Ándalus*. En Córdoba llegan a extenderse por toda la ciudad, constituyendo la parte central de las viviendas al igual que lo fue el *domus romano*, que sin ventanas exteriores a la vía pública y zaguanes en curva, creaban un espacio ajardinado íntimo y fuera del alcance de miradas ajenas. A la riqueza de los patios hispanorromanos encontrados allí y el conocimiento de los jardines del Imperio Bizantino, incorporan nuevos elementos que los hacen más bellos y adaptados a una cultura y religión donde la intimidad es una regla básica. Los arriates de los cuarteles en los que se dividía el jardín son escavados, más profundos

cuanto más rico era el dueño, creciendo los pies de arboles y vegetales de menos porte por debajo de los andenes y acequias que los cruzan. El efecto estético sobre los arcos que rodean el patio es sublime, sin embargo, y como veremos con detalle, desde el punto de vista de la gestión del agua, la humedad del jardín, crecimiento de las plantas y gestión del flujo de energía solar, se trata de una técnica exquisitamente refinada que transformaba el patio central de la casa en un auténtico y potente sistema de climatización pasiva, muy útil para el momento climático de gran aridez de aquel presente.

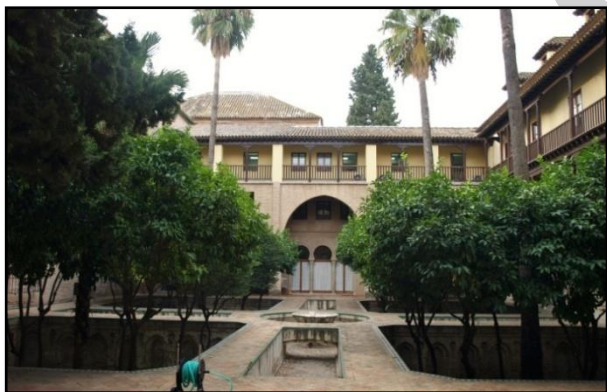
Finalmente, el *óptimo climático medieval* decae para dejar paso a un nuevo periodo singularmente frío que recibe el nombre de *pequeña edad de hielo*, y que durará hasta la revolución industrial. Con este también decae *al-Ándalus* que poco a poco va sucumbiendo a las guerras internas y reconquista cristiana. Es conocido que los jardines de las casas patio de *al-Ándalus* de Córdoba se ven afectados por un clima cada vez más frío y lluvioso, desapareciendo progresivamente los arriates escavados, y posiblemente la necesidad de mantener este tipo de microclima. No obstante, y aunque quedan pocos ejemplos vivos de esta época dorada de la jardinería, el jardín medieval de *al-Ándalus* ha servido de inspiración a nuevos tipos de jardín que han llegado a nuestros días como son el jardín patio de la casa señorial andaluza y la casa patio popular.

Visto con esta perspectiva, es tentador pensar que la historia de la casa patio de Córdoba es la historia de un largo viaje desde la antigua Mesopotamia a hombros del cambio climático. Es muy probable que este viaje no termine aquí.

### 3.7 Análisis del jardín medieval de *al-Ándalus*

<<Plantó Dios un jardín en el Edén, al oriente, y allí puso al hombre a quien formara. Hizo brotar en él de la tierra toda clase de árboles hermosos a la vista y sabrosos al paladar, y en medio del jardín el árbol de la vida y el árbol de la ciencia del bien y del mal. Salía del Edén un río que regaba el jardín y de allí se partía en cuatro brazos. El primero se llamaba Pisón ... el segundo Guijón ... el tercero Tigris .... El cuarto Eufrates>> Génesis 2, 8 a 14.

El jardín medieval de *al-Ándalus* es la reconstrucción simbólica del paraíso descrito en el Génesis. El tiempo y el largo viaje que emprendió desde la antigua Mesopotámica no han sido un impedimento para que su diseño siga entrañando el mapa del escenario donde nació la primera civilización neolítica. Es un espacio lleno de simbolismos que responde a la concepción de un mundo dividido en cuatro elementos esenciales: agua, aire, tierra y fuego, el "*chahar bagh*", *jardín cuatridiviso* o *jardín de jardines*. Sin embargo, la materialización en forma de jardín de la narración que hace el Génesis sobre el paraíso, oculta bajo el anonimato que proporciona el descaro de la descripción literal, los componentes básicos del sistema de climatización pasiva más eficaz conocido para ambientes cálidos y secos: agua y plantas, ostentando el jardín medieval de *al-Ándalus* el diseño más refinado de los que han existido.



**Ilustración 52.** Patio de la Casa de Contratación del Alcázar de Sevilla. Se trata de un patio interior que se sitúa dentro del actual edificio administrativo y de gestión de la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Es uno de los pocos restos que guardan los arquetipos de la arquitectura almohade en la península. Formó parte de uno de los palacios reales originales del alcázar de Sevilla en la época medieval de *al-Ándalus*, y guarda en su diseño y construcción elementos fundamentales para el estudio de los patios de la época almohade. Este patio, que se encontraba bajo tierra, fue descubierto en las excavaciones que se hicieron en este lugar en los años setenta del siglo pasado por Rafael Manzano Martos, tras estas excavaciones se hicieron obras de recuperación y de restauración de este importantísimo patio histórico.

En este capítulo se va a analizar el jardín medieval de *al-Ándalus* desde la perspectiva que proporciona el diseño y construcción de edificios en ambientes secos y cálidos, basados en la creación de un hábitat confortable con técnicas de climatización pasiva. Usaremos como modelo para este análisis un tipo especial de jardín que se hizo muy popular en la época almohade de la ciudad de Córdoba. El patio de la Casa de Contratación del Alcázar de Sevilla, es uno de los pocos restos que han podido ser reconstruidos parcialmente, y que dan una idea muy próxima a su diseño original.



**Ilustración 51.** Recreación digital del hipotético aspecto del Patio de la Contratación en el siglo XX. Al-Qantara (AQ) XXVIII 1, enero-junio 2007, pp. 181-228 ISSN 0211-3589.

La predilección musulmana por los jardines, tiene su origen en el jardín-paraíso descrito en el Sagrado Corán que es, ante todo, la suprema e infinita promesa de felicidad a los que hacen el bien y rechazan el mal. Como hemos visto en la aproximación histórica, el jardín medieval de *al-Ándalus* tiene influencias de los jardines persas por el propio origen del islamismo, y el patio hispanorromano que encontraron tras la conquista de la península Ibérica.

Con antecedentes muy antiguos, el número cuatro es un símbolo que representa los cuatro elementos sagrados. En el Génesis, primer libro del Antiguo Testamento, un río salía del Edén para regar el jardín y desde allí se dividía en cuatro brazos. Para los persas de la antigüedad, una cruz dividía al mundo en cuatro partes y de su centro brotaba un manantial. Con esta concepción, sus jardines responden a cuatro principios básicos:

1. Un recinto rectangular donde los elementos de cierre definen y configuran su forma.
2. Dos ejes de simetría transversales materializados como caminos y canales de agua.
3. Los cuatro cuadrantes resultantes de esta división son los espacios destinados a la plantación.
4. En el cruce de los ejes aparece el agua como elemento focal alrededor del cual todo se ordena.

El sistema de riego de este jardín está basado en la conducción del agua por canales que vierten e inundan los pies de las plantas. Intercalados encontramos estanques que proporcionan estabilidad a los caudales y láminas de agua que intensifican la evaporación y capacidad de almacenamiento de energía por su alto calor específico. En estos estanques solían crecer diversidad de plantas acuáticas, como nenúfares y peces multicolores. Los caminos se ordenan en torno a estos canales. Al ser un sistema de riego por gravedad, las conducciones se construyen a un nivel ligeramente elevado con respecto a la cota de los cuadrantes destinados a la plantación.



Ilustración 53. Jardines del Generalife de la Alhambra, Granada.

Este estricto orden geométrico contrasta con los elementos vegetales del jardín que siguen un patrón natural de plantación. De esta forma, los árboles, arbustos y herbáceas constituyen masas densas e irregulares, con alta diversidad de especies, y variedad de tamaños, lo que crea una canopia ampliamente estratificada que desborda cada uno de los cuadrantes hasta el mismo camino. El anexo 5.2 facilita un glosario de los árboles y arbustos conocidos en la península Ibérica durante el período de la dominación musulmana, según los datos proporcionados por los tratados agrícolas andalusíes.

El origen de la religión islámica en oriente próximo, hace que el jardín persa sea asimilado en su cultura con el encaje espiritual propio de las creencias abrahámicas de la región. Sin embargo, los musulmanes llegan a la península Ibérica en el siglo VIII y se encuentran la versión hispanorromana del patio jardín con la misma raíz que el jardín persa. Se trata pues de un tipo de jardín integrado en la edificación con una tipología y funcionalidad afín a su cultura, asimilándola con facilidad, y de la que toman los aspectos más arquitectónicos de tradición romano-bizantina como son los pórticos, columnatas y suelos pavimentados. Respecto a la tipología, los jardines de *al-Ándalus* bajo la hegemonía política de los Omeyyas, Taifas, Almohades y Nazaríes, se corresponde fielmente al jardín cuatripartito persa con alberca central, donde los espacios destinados a los elementos vegetales están rehundidos. Esta última característica se hace cada vez más patente y exagerada en la época almohade, donde llega a extenderse por toda la ciudad de Córdoba, como un distintivo de ostentación y riqueza, mayor cuanto más profundos eran los arriates.

Es reconocida la funcionalidad del jardín de *al-Ándalus* como un espacio religioso abierto al cielo o "*sahn*", una instancia privada de meditación y esparcimiento dentro del hogar, y protegida hasta el más mínimo detalle de las miradas profanas, para lo que existían férreas normas urbanística de servidumbre de vistas. En la práctica, dentro del patio se desarrollaba la mayoría de las tareas cotidianas y familiares, usándose las salas y las alcobas para la noche o para la estación fría.

Las casas variaban mucho en tamaño, pero por muy pequeñas que fueran, siempre mantenía un patio interior. Al igual que en el *domus* romano, la vivienda se

ordena en torno al patio, creando un espacio abierto y aislado del exterior. Como transición con la vivienda techada, este solía estar rodeado por galerías con arcos que se apoyaban en pilares o columnas, de la misma forma que lo hacía el peristilo romano (Ilustración 53). Desde el espacio público, tenían un aspecto muy pobre en contraste con el interior, sin apenas ventanas a la calle y solo accesibles por una humilde entrada con zaguán en codo antes de abrirse al patio (Ilustración 55). Como consecuencia, la vivienda vista desde el exterior consistía en un muro enlucado y techado, sobrio y poco amigable, de entrada oscura, y solo algún ajimez en la planta baja como único lugar de contacto de la mujer con el exterior.



Ilustración 55. Zaguán en codo de la Casa Árabe de Córdoba.

Son muchas las interpretaciones realizadas sobre la morfológica y funciones de la vivienda musulmana integrada en el jardín medieval de *al-Ándalus*, la mayor parte relacionadas con la idiosincrasia de esta cultura, el arte y su religión, sin embargo, desde el punto de vista de la construcción de viviendas en zonas cálidas y secas, la descripción aquí expuesta encaja, como ya veremos, con uno de los diseños más eficaces de climatización pasiva.

Efectivamente, cualquier tipo de vivienda ordenada alrededor de un patio jardín interior permite integrar en una misma solución dos criterios en principio contrapuestos en el contexto de un clima árido, como es el de crear una vivienda confortable desde el punto de vista climático, abierta al ambiente exterior. Su invención fue casi natural, ya que se trata de realizar una construcción alrededor de un oasis, lugar que por propia experiencia de los habitantes de un desierto, se beneficia de un clima local confortable.



Ilustración 54. Patio casa señorial andaluza del Palacio de Viana.

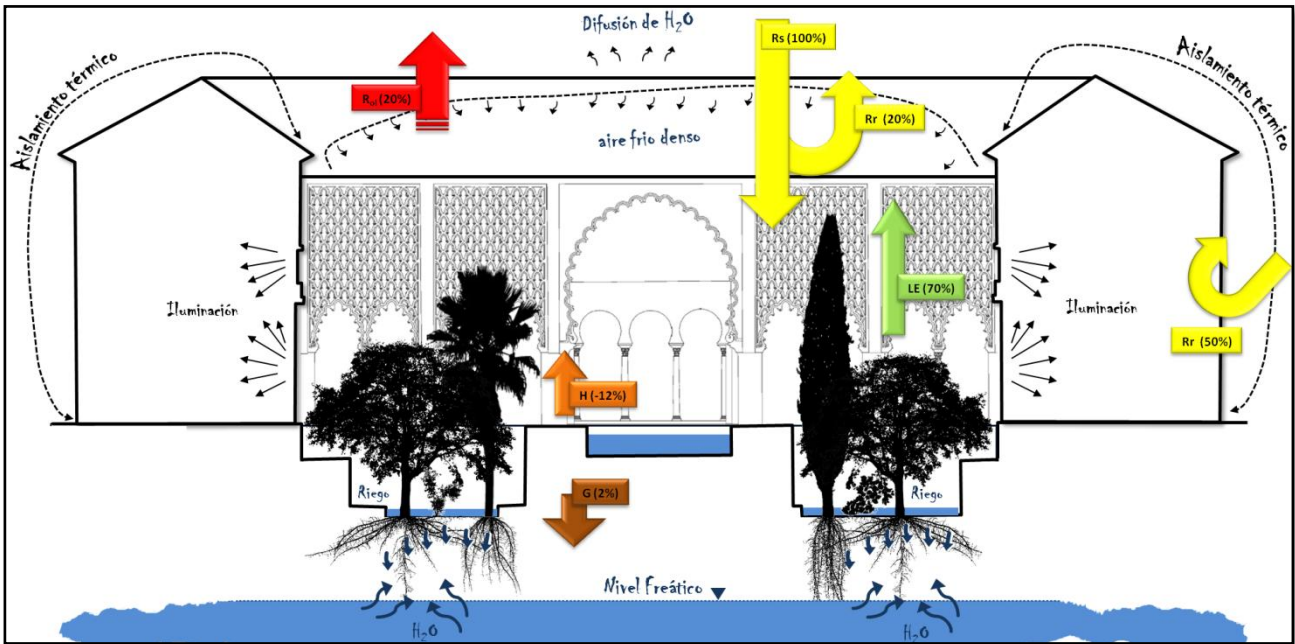


Ilustración 56. Esquema de funcionamiento del sistema de climatización pasiva de la casa jardín medieval de al-Ándalus.

El agua es básica en el jardín de al-Ándalus, no solo como símbolo: alta inercia térmica, alto calor latente de vaporización y sustento de la vegetación. Como hemos visto en varias ocasiones a lo largo de este documento, la evapotranspiración es un fenómeno que cambia por completo la distribución de flujos entre las cadenas secundarias de energía, ya que esta tiene la capacidad de captar y transformar buena parte de la energía solar incidente en calor latente de vaporización, disminuyendo así, e incluso revirtiendo la cantidad de energía solar destinada a calentar la atmósfera, o lo que viene a llamarse calor sensible. Sin embargo, los flujos de energía no solo son verticales desde el sol a la tierra, sino que la energía también se transmite horizontalmente por conducción, convección e incluso radiación reflejada y térmica, entre lugares próximos. De esta manera, por mucha capacidad para evacuar energía por evapotranspiración que tenga un pequeño enclave de terreno, el clima general de la zona desborda e intenta prevalecer gracias a los aportes horizontales. De esta forma, para conservar la disminución de temperatura de la que se beneficia un lugar con plantas y agua, solo hay dos soluciones posibles para salvaguardarlo de los aportes laterales del entorno: que dicho enclave sea de gran extensión, con lo cual hacemos que las cadenas horizontales de energía se vean proporcionalmente reducidas, o cerrar entre muros el ambiente creado por la evapotranspiración, anulando físicamente el transporte horizontal de energía, al menos en los primeros metros desde el suelo. La combinación de ambos proporciona los mejores resultados, y es por ello, que los grandes jardines medievales de al-Ándalus o el patio casa señorial andaluza actual (Ilustración 54), más que representar una ostentación de lujo al visitante, lo que realmente crea es un ambiente local confortable, que se transmite al resto de la vivienda.

La vivienda que se ordena en torno al patio jardín tiene la función de proteger el ambiente creado en este, a la vez que se beneficia de su microclima. Esta protec-

ción no solo la realiza por disminuir las transferencias laterales de energía provenientes de un entorno más cálido, también lo salvaguarda en cierta medida de la radiación solar directa, a lo que influye el tamaño, orientación del patio, y altura y forma del edificio. Así, los patios pequeños encerrados entre grandes muros reciben muy poca radiación solar, solo unas horas a media mañana durante los meses donde la altura solar es muy vertical. En viviendas de cierta dimensión, la combinación de patios de diferentes tamaños ayuda a la ventilación de las habitaciones. Sin embargo, existe un contrapunto, dado que un patio pequeño y profundo es menos eficiente a la evapotranspiración por el día, al disminuir la difusión del vapor de agua, la pérdida de energía por radiación térmica por la noche es menor, y en invierno son oscuros, fríos y húmedos.

El edificio a su vez debe aislarse en su parte periférica de contacto con el ambiente exterior, efecto que consigue mediante muros gruesos, aislantes y con mucha inercia térmica, ventanas escasas y pequeñas, situadas en la parte baja del edificio, y muros encalados para el aumento del albedo (Ilustración 55). La iluminación de la vivienda debe realizarse ante todo mediante la apertura de vanos al interior del patio, lo que permite que uno de los puntos más débiles del aislamiento térmico de la vivienda mire a una zona más fresca.

No tenemos datos precisos de las características del clima de aquella época. Sin embargo, es muy posible que el calor latente de vaporización evacuara hasta el 70% de la radiación solar directa (Ilustración 56). Aunque la evapotranspiración da lugar a un aire más húmedo, su densidad aumenta durante el enfriamiento adiabático, dando como resultado a la formación de una burbuja fresca y estable que no se satura de humedad gracias a la difusión del vapor de agua a un ambiente exterior muy seco (Ilustración 56). Incluso con saturación de humedad las plantas continúan trabajando como hemos visto en el capítulo 3.2 (Influencia de las plantas en el clima local: El "efecto oasis"). Mientras, por la



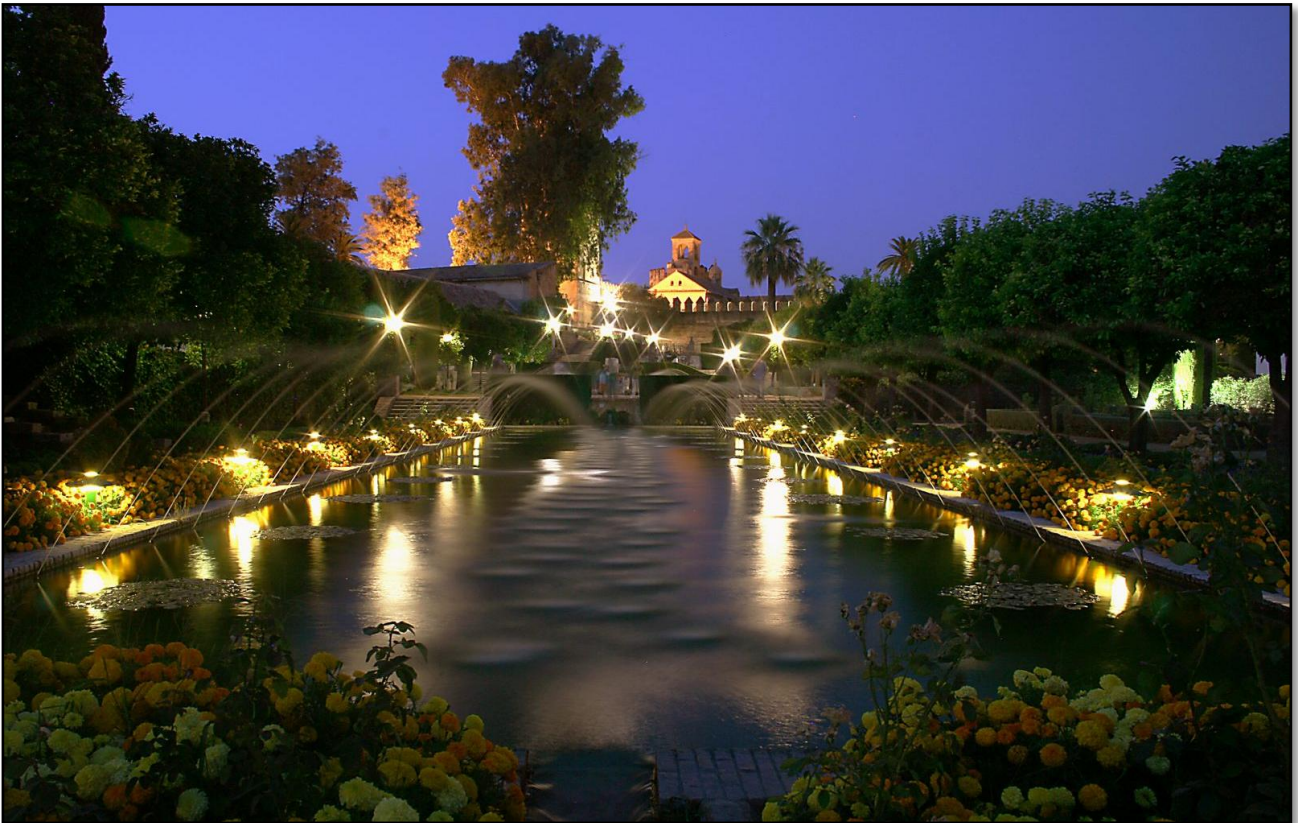


Ilustración 57. Jardines del Alcázar de Córdoba.

noche se crean corrientes de aire, reforzadas por el riego al atardecer que intensifica la disminución de calor sensible y enfriamiento del suelo.

Las masas de agua en el jardín también son muy importantes no solo por la evaporación y enfriamiento directo desde la lámina de agua, sino también por su alta inercia térmica. Usar materiales con alta inercia térmica o calor específico es un arma de doble filo que puede tener efectos no deseados en la climatización pasiva, ya que igual que pueden ser lentos a calentarse, por la noche son perezosos para desprenderse del calor, creando así ambientes recalentados. Sin embargo, en este tipo de jardines el agua es renovada diariamente durante el riego nocturno.

Por otro lado, la evapotranspiración en el interior del patio se hace más eficaz cuando la canopia del jardín es alta y diversa. Esto se consigue con un dosel arbóreo o arbustivo diverso y ordenado en estratos, con continuidad desde el mismo suelo. Los árboles transpiran y el aire fresco desciende a sus pies, al mismo tiempo que proporcionan sombra. Las especies deben estar adaptadas a climas cálidos y secos, no por su capacidad a la hora de ahorrar agua, sino por su alta eficiencia hídrica para transpirar sin colapsar y extraer agua del suelo cuando están bien provistos de agua, y cerrar los estomas y aguantar la sequía cuando no la tienen o se ven desbordados por la alta radiación y temperatura. En este sentido, la flora mediterránea tiene un poder innato para conciliar ambas características, dando un papel privilegiado a las especies azonales que crecen en hábitats húmedos durante todo el año. Sin embargo, no son las únicas, y no todas valen para crear jardines con

esta función o no todas son validas para diferentes tipos de jardín. Jardines umbríos, jardines soleados, jardines arbóreos, altura de la edificación, orientación, suelo, clima, disponibilidad de agua, son una muestra de variables del hábitat del jardín que dan juego a la creatividad. De aquí la diversidad de especies que *al-Ándalus* poseyó en su día, y la alta curiosidad a otras especies en sus transacciones comerciales y viajes (anexo 5.2). De esta forma, la jardinería era considerada en la sociedad de *al-Ándalus* como una de las profesiones de mayor prestigio.

La incorporación de árboles al jardín no solo mejora la capacidad de transpiración, también la de exploración del suelo en la búsqueda de agua. No obstante, la introducción de especies de árboles de gran porte, tiene como contrapartida el apantallamiento de los elementos arquitectónicos del edificio, así como el sombreado indeseado durante la estación fría cuando son perennes. Sin embargo, en muchos de los jardines de *al-Ándalus* consiguieron compatibilizar ambos criterios, hundiendo progresivamente los arriates o zonas del jardín cuatripartito destinado a la plantación. Es posible que también sirvieran para mantener más seca la cimentación y muros de la casa. Desde el punto de vista paisajístico, la combinación de árboles grandes plantados sobre arriates hundidos no solo conseguía mejorar la eficiencia microclimática sin ocultar la arquitectura de la vivienda o arrojar sombra, también permitía pasear por los caminos del jardín disfrutando de una posición privilegiada sobre la canopia del arbolado. Pese a todas estas razones, los arriates hundidos de los jardines de *al-Ándalus* tenían una función añadida más si cabe, que los hacía aún más eficaces a la hora de aprovechar los

recursos hídricos del lugar. Este tipo de arriates solo podía construirse en lugares con los suelos profundos, típicos de depósitos fluviales cuya excavación no menoscaba la calidad del suelo. En estos suelos la capa freática es relativamente somera. De esta manera, hundir el arriate permitía acercar las raíces de los árboles a esta fuente casi inagotable de agua, y así no depender tanto del riego (Ilustración 56).

Por último, las zonas de plantación hundidas también permitían aprovechar la alta inercia térmica que proporciona el suelo a cierta profundidad. Se trata de una ventaja nada desdeñable que puede transmitirse a la totalidad del patio, e incide directamente sobre la propia fisiología de las plantas que crecen en el arriate hundido, ya que al encontrarse en un hábitat que amortigua las oscilaciones térmicas, es posible ampliar el abanico de especies vegetales que pueden crecer en el lugar, así como la mejora de su crecimiento. De esta manera, es probable que los jardines de *al-Ándalus* pudieran incluir especies vegetales de zonas subtropicales con altas exigencias ecológicas.

Visto en conjunto, el jardín medieval de *al-Ándalus* integrado en la vivienda consistía en un sistema de climatización pasiva superior para su época, una habitación sin techo con ambiente acogedor, repleta de arte y una belleza que despertaba todos los sentidos, que no solo representaba el edén descrito en el Génesis, sino que de por sí ya era un paraíso en el contexto de extrema aridez que vivía la península Ibérica, durante el “óptimo climático medieval”.

### 3.8 El Patio Cordobés

Joaquín Hazañas cita en *“La Casa Sevillana”*<sup>27</sup> que cuando un sevillano mandaba construir una casa, decía a su arquitecto: *“hágame vos en este solar un gran patio con buenos corredores alrededor y si terreno queda hágame habitaciones”*.



Ilustración 59. Patio de la Cancela del Palacio de Viana. Casa Señorial de Córdoba.

Tras la reconquista de las ciudades andaluzas por los cristianos, la vivienda musulmana fue respetada hasta cierto punto, perpetuando con un tinte castellанизado el modelo de casa patio de *al-Ándalus* con el nom-

bre de casas moriscas. Durante el Renacimiento, la vivienda señorial toma la esencia de las casas moriscas al presentar un patio central con galerías en su perímetro como centro alrededor del cual se ordenan las habitaciones, conservando incluso ciertos elementos mudéjares. Sin embargo, el zaguán en codo se pierde, abriendo el patio hacia la calle y realzando la entrada en función del linaje del dueño, que se mantiene abierta a la mirada durante todo el día gracias a las cancelas de hierro y por obligación del Santo Oficio tras la llegada de la Inquisición.



Ilustración 58. Casa Patio Popular de Córdoba.

Igual que hacían los moradores de la casa patio de *al-Ándalus*, muchas de las habitaciones no tenían una función permanente, usando la planta baja durante el verano para aprovechar la frescura del jardín, y la planta alta en invierno, más seca y aislada, quedando el patio como el salón mayor. El auge de sociedad burguesa en el siglo XVIII, enriquecida con el comercio con América, adquiere privilegios ante la sociedad e iglesia con la compra de títulos nobiliarios. Los cambios en los patios se hacen patentes, adquiriendo mayor tamaño, regularidad y galerías con arcadas de piedra que pueden repetirse en la planta alta, aunque lo común es que sigan respetando los pies derechos y zapatas de madera mudéjares. También era frecuente un segundo y hasta un tercer patio, donde se desenvolvía la vida privada de los señores, su familia y servidumbre.

En el siglo XX muchas casas señoriales desocupadas son rehabilitadas y arrendadas a una población creciente que proviene de zonas rurales, con escasos recursos económicos. Este escenario conlleva una transformación importante para la casa patio de la época, ya que aunque mantiene el mismo dueño, pasan a ser habitadas por personas y familias de distinta índole, que comparten espacios comunes como el patio, cocinas, aseos y lavaderos, y cuyas necesidades y poder adquisitivo impide mantener una vivienda con patio ajardinado del estilo de la casa señorial, donde queda reducido el espacio dedicado a la plantación, que quedara marginado a macetas, macetas en paredes y arriates arrinconados. Esta nueva situación da origen a la casa patio popular de Córdoba, en todas sus versiones conocidas, y que hoy en día junto a las casas patio señoriales que aún quedan de la edad renacentista, constituyen una de las fiestas culturales y atractivo turístico más importante de la ciudad de Córdoba, con reconocimiento por la UNESCO como [Patrimonio Inmaterial de la Humanidad](#).

<sup>27</sup> HAZAÑAS, Joaquín. *La Casa Sevillana*, Sevilla, Padilla, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, 1989, p.23.

## 4. Metodología

### 4.1 Introducción

Con el fin de cumplir el objetivo principal de este proyecto se ha procedido a diseñar una red de estaciones meteorológicas que miden con alta precisión temporal las variables más importantes que determinan el confort humano de un entorno urbano. Esta red tendrá dos funciones fundamentales:

1. La primera es proveer de datos microclimáticos con el fin de analizarlos en el contexto del clima general de la ciudad, modelo urbano, cantidad y frecuencia de riego, condiciones meteorológicas particulares, ahorro energético en viviendas, movilidad, turismo, y toda una lista de sectores de interés relacionados con la calidad de vida de los ciudadanos, actividad empresarial, etc. Aunque la obtención de estos datos durante una o varias campañas y su análisis es una tarea que este trabajo abordará en su segunda fase, es de esperar que dichos datos sean de interés para los centros de investigación que lo soliciten, administración local, incluso ciudadanos avanzados que quieren ir más allá de la simple consulta. Cada sensor de la red tendrá una localización acorde al modelo urbano microclimático, que a priori, este estudio considera determinante para tener un comportamiento diferenciado del confort climático local ante equivalentes condiciones meteorológicas generales de la ciudad, y cuya referencia recaerá sobre la estación meteorológica de la Agencia Estatal de Meteorología (AeMet) del Aeropuerto de Córdoba (ver Ilustración 61 e Ilustración 60).

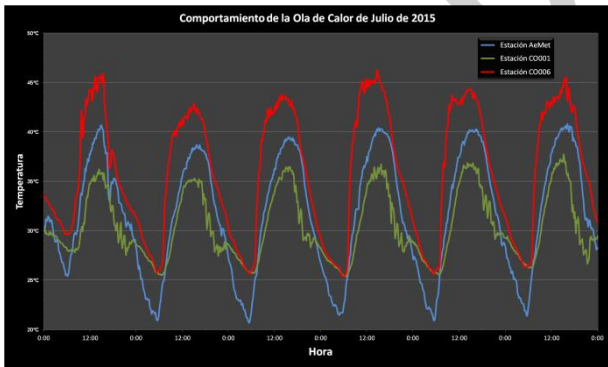


Ilustración 61. Comportamiento de dos modelos urbanos durante un periodo de ola de calor. La estación CO001 (curva verde), representa al modelo urbano UVh (zona verde regada), mientras que la estación CO006 (curva roja) representa el modelo urbano Us (zona sellada). La curva azul representa los registros de la estación meteorológica de referencia de la AeMet.

2. La segunda función que debe desempeñar esta red de estaciones meteorológicas es la de suministrar los datos registrados a tiempo real o pasado de cada uno de los sensores, a los ciudadanos que deseen consultar el microclima o clima local de los diferentes puntos de la ciudad o su entorno. Este servicio debe realizarse en un contexto de conocimiento sobre esta materia, información que a su vez debe proporcionar la propia plataforma Web de consulta, para de esta forma permitir al ciudadano entender e interpretar correctamente los datos y su implicación sobre el medio urbano. Así mismo, no estaríamos hablando de comunicación si el flujo de información fuese exclusivamente unidirec-

cional. De esta manera, se pretende crear una plataforma de comunicación que posibilite el debate ciudadano sobre un asunto que posiblemente no sea tratado con la importancia que se merece.

Cada estación de la red medirá en todos los casos la temperatura y humedad relativa del instante con un minuto de frecuencia. Sin embargo, no se descarta la medición de otras variables meteorológicas, como radiación, temperatura del suelo, viento, etc. con el fin de completar los datos de otros modelos usados para la estimación de factores como evapotranspiración de referencia, radiación solar, confort climático humano, etc.



Ilustración 60. Entorno de la estación meteorológica de la AeMet del Aeropuerto de Córdoba.

La localización exacta de cada estación meteorológica y las características del entorno cercano es un punto crucial del proyecto. Existen una serie de reglas y criterios para que la localización de una estación meteorológica sea representativa cuando el objetivo es medir las condiciones generales de la meteorología de una zona, con vistas a generalizar esos datos a una región, al mismo tiempo que puedan ser comparados con los de otras localidades alejadas. De esta forma, estaríamos falseando una comparativa de la temperatura entre las ciudades de Córdoba y Sevilla si la localización de la estación de Córdoba estuviera situada en un jardín arbolado con césped, riego frecuente y una masa de agua cercana, mientras que la de Sevilla estuviera en un aparcamiento asfaltado, sin árboles, próximo a un polígono industrial. Es por tanto un requisito muy importante que el entorno próximo a la localización de las estaciones sea semejante con el fin de que sus mediciones sean comparables y no sean el resultado de estar midiendo el comportamiento de un ambiente concreto. La Norma UNE-500510 establece los criterios de localización para el emplazamiento e instalación de sensores (anexo 5.3), con la fe de establecer unas características estándar del entorno para que la estación meteorológica pueda ser homologada y por tanto, sus datos puedan ser comparables y extrapolables, como por ejemplo que el terreno debe estar alejado de edificaciones y árboles, con libre circulación del aire y visibilidad en todas las direcciones, y otra serie de criterios que buscan evitar interacciones no contempladas que puedan modificar las observaciones.

Sin embargo, el propósito de este proyecto contradice por completo los criterios universales de normalización exigidos a la hora de buscar el emplazamiento de una estación meteorológica. Efectivamente, el objetivo de este estudio consiste en conocer y comparar el comportamiento de diferentes tipologías urbanas ante equivalentes condiciones meteorológicas generales, en este caso las marcadas por un punto de referencia que sí está normalizado. De esta manera, cada localización debe ser representativa del ambiente al que está expuesta una persona situada en este lugar, cuyo entorno urbano responde a unas características que a priori van a traducir el clima general de una zona a un microclima o condiciones locales diferentes, unas veces más favorables que otras al confort climático. Por tanto, nuestro objetivo ahora no es comparar la meteorología de puntos distantes como la ciudad de Córdoba y Sevilla, sino dentro de una misma ciudad distinguir localidades que por sus características urbanas se van a expresar de manera diferente.

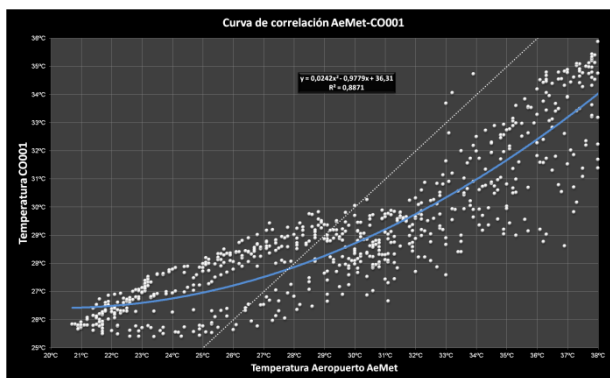


Ilustración 62. Correlación entre la estación meteorológica del Aeropuerto de Córdoba de la AeMet y una estación que registra la tipología urbana de Patio A Jardinado, durante el mes de Julio en Ola de Calor. La línea blanca discontinua delimita el comportamiento simétrico.

Esto no implica la adopción de una normalización mínima de las características de los sensores de la propia estación, altura de la medición, contenedor de los componentes o cualquier otro aspecto más propio del instrumento en sí.

Tras el acopio de información durante una campaña, el siguiente paso consiste en analizar los datos obtenidos con el fin de obtener conclusiones que apoyen la toma de decisiones en la planificación y gestión del medio urbano. Un producto muy importante que se pretenden obtener con este proyecto consiste en elaborar un conjunto de criterios por cada materia urbanística, cuya aplicación permita transformar el medio urbano actual en un medio urbano más adaptado al clima presente y futuro, mejorando el confort climático de los espacios públicos y privados, y reducir la demanda energética para la climatización de los espacios cerrados.

El enfoque del análisis de los datos estará orientado a responder las siguientes cuestiones generales:

1. Caracterización y cuantificación del comportamiento del microclima de cada modelo urbano, conociendo su respuesta en diferentes episodios meteorológicos, tanto en periodos normales, como extraordinarios. Registrar y analizar el comportamiento de cada uno de los

modelos urbanos en condiciones extraordinarias y extremas, también va a permitir conocer cómo será la ciudad de Córdoba bajo condiciones de cambio climático. También es importante discernir el comportamiento de los modelos urbanos en cualquier época del año, ya que lo que puede ser positivo en la época estival, puede convertirse en una desventaja durante otros meses del año. Una de las tareas más importantes a estudiar consiste en relacionar el comportamiento de cada modelo urbano con las condiciones generales de la meteorología registradas en la estación meteorológica de referencia de la AeMet (Ilustración 62). Esta relación estará modulada por otros factores colaterales que deberán discriminarse correctamente con el fin de predecir de manera estratificada la conducta de cada tipo. El resultado final de esta labor va a permitir predecir el estado del confort climático de cada lugar de la ciudad en función de los datos registrados por la estación de referencia de la AeMet, aun cuando no exista estación en dicho punto.

2. Reclasificación de los modelos urbanos microclimáticos definidos a priori. La localización de las estaciones se realiza en base a una estratificación a priori del espacio urbano (ver punto 4.2.2 Clasificación y nomenclatura). Esta estratificación corresponde a una clasificación previa, no definitiva, que intenta discriminar de manera teórica los diferentes comportamientos expresados en la ciudad ante el clima. Es por este motivo, que el desarrollo del proyecto debe verificar que dicha clasificación responde a la realidad, y que dentro de cada estrato la variabilidad de respuestas no excede un umbral, o que diferenciaciones establecidas al principio están justificadas por los datos experimentales.

3. El recurso termorregulador que proporciona el enfriamiento adiabático durante la transpiración de las plantas consume agua. Es por este motivo que el comportamiento de un jardín, un bosque, un cultivo, etc. es radicalmente diferente cuando las raíces dejan de tener acceso al agua, ya sea por su agotamiento por falta de lluvia, riego o excesiva demanda de ETo. Las plantas de un jardín que dejan de regarse y agotan el agua del suelo entran en estado de estrés hídrico, cerrando los estomas o poros de las hojas responsables de la transpiración. Independientemente de que estas plantas puedan sobrevivir en dichas condiciones, o se activen mecanismos adaptativos como la parada del crecimiento, defoliación, etc., la termorregulación de la masa vegetal cesa y el ambiente del lugar comienza a recalentarse, en ocasiones incluso a mayor ritmo que otros modelos urbanos, ya que el bajo albedo de las hojas y la configuración vertical de la canopia, incrementan la radiación solar neta. Es por esta razón que el análisis del microclima de un jardín, bosque, cultivo, etc. debe tener muy en cuenta los aportes de agua, cómo se distribuye en el perfil, la profundidad y características del suelo, percolación, etc. Otro factor muy importante es la composición de especies vegetales. De esta forma, muchas plantas adaptadas a climas secos no son capaces de aprovechar los recursos hídricos cuando están disponibles, lo que da lugar a escasas tasas de termorregulación. Igual ocurre con especies de pequeño porte cuyas raíces no pueden acceder a los estratos profundos del suelo. Equivalentes resultados tendremos cuando la fenología de las plantas, incluso siendo arboles de

gran porte, tenga programado el apagón estival de sus funciones fisiológicas. En este punto es importante decir que nos encontramos en un campo de investigación muy abierto y poco estudiado, por lo que es muy probable que este proyecto no pueda abarcar todas las tipologías existentes en Córdoba bajo este punto de vista.

4. El comportamiento del microclima urbano depende de multitud de factores relacionados con las condiciones generales de la meteorología regional. Temperatura general, radiación solar, humedad y vientos generales de la región, condiciones meteorológicas de días anteriores, son ejemplos de las muchas variables de las que puede depender el microclima de un lugar determinado de la ciudad. Por ejemplo, la lluvia acontecida días anteriores puede modificar el comportamiento de un modelo urbano de jardín con un suelo poroso, a diferencia de un lugar impermeabilizado, donde apenas se notará la diferencia. Las tipologías urbanas ajardinadas son menos eficientes a disipar el aumento de la temperatura cuando está causada por una ola de calor consecuencia de la llega de vientos africanos, que cuando el mismo efecto es causado localmente por la radiación. Por otro lado, el flujo de energía en el suelo da origen a situaciones de histéresis más o menos patentes dependiendo de las características de los materiales urbanos. Estas y otras muchas condiciones definirán los estratos que discriminarán los comportamientos anómalos de la correlación de los diferentes modelos con la estación meteorológica de referencia.

5. El siguiente paso consiste en obtener un modelo espacial continuo a partir de los datos puntuales obtenidos en la red de estaciones meteorológicas. Para ello, la segunda fase de este proyecto considera apoyarse en tecnologías basadas en sensores remotos o teledetección de alta resolución espacial. El objetivo consiste en conseguir relacionar los datos obtenidos en esta red con los niveles digitales registrados en imágenes de alta resolución adquiridas mediante sensores de infrarrojos transportados en drones. El producto resultante de este trabajo es un modelo territorial de comportamiento de la ciudad de Córdoba ante diferentes condiciones meteorológicas, lo que podrá permitir conocer el confort climático de cada punto de la ciudad a tiempo real, pasado o futuro.

6. Por último, la difusión de los datos e información obtenida se realizará mediante una página Web organizada en:

- ⇒ Presentación inicial en el que se expondrán la justificación y objetivos del proyecto, así como los métodos e instrumentos ideados para realizarlo.
- ⇒ Pagina de consulta de la red de estaciones meteorológicas.
- ⇒ Pagina con los resultados obtenidos del análisis de los resultados obtenidos en campañas anteriores.
- ⇒ Pagina general sobre las implicaciones del sistema urbano actual y sus consecuencias en el confort climático, sus impactos en los diferentes sectores de la ciudad (energía, turismo, movilidad, empresas, etc.) y

como se comportará esta en los escenarios futuros de cambio climático.

- ⇒ Pagina general sobre el modelo de ciudad deseado con vistas a la adaptación del modelo urbano y social al clima actual y futuro.
- ⇒ Pagina de conclusiones y decálogo de criterios para la planificación y gestión del medio urbano con el objetivo de mejorar la calidad climática de la ciudad.
- ⇒ Pagina de comunicación con la ciudadanía.

## 4.2 Modelos urbanos microclimáticos

Este proyecto parte de la tesis de que no todos los lugares de una ciudad responden de igual manera a unas condiciones meteorológicas generales, creando un entorno climático propio o microclima en función de los elementos urbanos que lo caracteriza. Según esto, un *modelo urbano microclimático* es la configuración exclusiva de elementos urbanos que originan un ambiente particular ante equivalentes condiciones meteorológicas. A continuación van a exponerse los factores más importantes que intervienen en la creación de un microclima urbano.

### 4.2.1 Variables determinantes del microclima urbano

El diseño de la red de sensores meteorológicos se basa principalmente en los *modelos urbanos microclimáticos*, que son una clasificación a priori del entorno urbano que discrimina clases o tipologías con un comportamiento homogéneo a la hora modular o transformar el clima general de la región en un microclima específico. La identificación del microclima se realiza en base a los parámetros meteorológicos que definen el confort humano, principalmente temperatura, humedad y radiación en el rango de habitabilidad del espacio, que suele establecerse alrededor de 1,50 metros de altura. El viento también es un factor muy importante para el confort climático, sin embargo, su alta variabilidad y dependencia con otros factores no relacionados con la configuración del espacio urbano, ha hecho que en principio solo sea considerado en la estación de referencia de la AeMet.

El microclima de una localización urbana va a reaccionar a las condiciones meteorológicas generales de una región en función de las siguientes características:

**1. Materiales inertes. Tipo, cantidad y distribución de los materiales inertes que constituyen el espacio urbano.** Los parámetros que influyen en el microclima del lugar son fundamentalmente el albedo, conductividad e inercia térmica, porosidad, rugosidad, orientación, configuración horizontal y vertical de los materiales a la hora de interceptar la radiación solar de onda corta (directa, difusa o reflejada) y transmitir o captar la radiación térmica, formas, proyección de sombras, pendiente y ventilación (o capacidad convectiva), entre otros. El diseño ideado para el espacio urbano en relación a como gestiona la lluvia es muy importante. De esta manera, una arquitectura con materiales impermeables que buscan el rápido desagüe del agua a la red de saneamiento, dará lugar una tipología urbana que no

podrá beneficiarse de la termostregulación que proporciona el enfriamiento adiabático. Por otro lado, la configuración espacial de los materiales y pendiente del terreno no solo es importante a la hora de distribuir la radiación solar y térmica, también influye a la hora de infiltrar el agua si los materiales son porosos. La altura de las edificaciones y grado de apertura del espacio exterior al cielo abierto tiene un comportamiento contrapuesto entre el día y la noche. Así ocurre en los espacios urbanos característicos del casco antiguo con calles estrechas y sombreadas, frescas por el día y reacias por la noche a desprenderse del calor mediante la radiación térmica y falta de convección. Todo lo contrario ocurre con espacios como las plazas abiertas, inhóspitas durante el día y frescas por la noche.



Ilustración 63. El albedo, altura de los edificios, anchura de la calle, orientación y proyección de sombras son las variables más importantes a considerar en entornos urbanos sin vegetación.

**2. El agua como elemento arquitectónico.** El agua no es considerada como material inerte por constituir un elemento fungible con propiedades y funciones muy distinguidas, y cuya interacción con el resto de componentes es claramente determinante a la hora de definir el comportamiento del microclima del sistema urbano. El agua aporta dos servicios claramente diferenciados que es importante distinguir. El tratado en este apartado es el *agua como elemento arquitectónico*, es decir, cuerpos o masas de agua contenidas en acequias, estanques, fuentes, saltos y láminas de agua, etc. El segundo, es el agua como elemento para el manejo de la vegetación, y que será tratado en el siguiente apartado. En el agua como elemento arquitectónico hay que fijarse en aspectos como el grado de renovación, superficie expuesta o superficie mojada, sistemas de vaporización, etc. En jardines con diseños antiguos, el sistema que gestiona al agua como elemento arquitectónico está unido al ciclo del agua para el manejo de los elementos vegetales.



Ilustración 64. El agua como elemento arquitectónico.

**3. Características, cantidad, distribución y gestión de los elementos vegetales en el espacio urbano.** Ya han quedado expuestos a lo largo de todo el documento los fundamentos que posibilitan la capacidad de los vegetales para transformar el clima de un lugar. Las plantas son capaces de interferir en los mecanismos de termostregulación interviniendo directamente en los flujos de energía mediante la transpiración. Este es un mecanismo físico denominado *enfriamiento adiabático*, y es relativamente fácil de simular y cuantificar. Sin embargo, al intervenir en este fenómeno elementos vivos como son las plantas y su interacción con el medio, su análisis, planificación y gestión se convierte en una materia compleja en la que intervienen multitud de ciencias y tecnologías asociadas. De esta forma, elementos vegetales y urbanos inertes se dan la mano para crear un sistema complejo que solo puede entenderse desde la termodinámica, biología, jardinería y urbanismo. Esta interacción se traduce finalmente en un mayor o menor grado de eficiencia a la hora de transpirar y evacuar energía. Los factores en los que hay que fijarse son fundamentalmente:

**a. El agua como elemento para la gestión de la vegetación.** La gestión del agua es el punto más crítico de cualquier zona verde concebida para mitigar los rigores climáticos de los periodos calurosos del año. Que las plantas tengan agua suficiente en sus raíces es el principio que pone en marcha la cadena de evacuación de energía a través del flujo de *calor latente de vaporización*. Todo lo que viene a partir de ahora consiste en cómo hacer para que este proceso sea lo más eficiente posible. En la gestión del agua no solo hay que considerar los aportes suplementarios mediante riego, sino también el manejo que se hace de la propia agua de lluvia.

**b. Composición de especies, estructura y entorno del jardín.** Mientras que la gestión del agua es un tema técnico complejo, la composición de especies vegetales y su estructura para crear un jardín es un campo tan amplio que lo convierte en un arte con una base científico-técnica tan amplia como queramos. Uno de los servicios más importantes que proporciona un jardín a ciudades como Córdoba es crear un espacio de confort climático. Afortunadamente, la variedad y posibi-

lidades de combinación de especies vegetales es tan extensa, que siempre es posible diseñar jardines con más de una función. En este punto hay que decir que la jardinería y paisajismo constituyen una materia de alto interés estratégico en ciudades de clima cálido y seco, y posiblemente el medio sostenible más importante de adaptación al cambio climático en zonas urbanas. Este no es un hecho nuevo como hemos podido ver en la perspectiva histórica aquí planteada, y es por esta razón que Córdoba dispone de una amplia gama de jardines, incluyendo los patios, que posibilita realizar un estudio bien planteado al respecto. El número de factores que influyen en la eficiencia del jardín como una máquina de climatización a cielo abierto es muy amplio. No obstante, si planteamos el problema a estudiar considerando al jardín como una caja negra, donde introducimos una determinada cantidad de agua y evaporamos otra resultante, el análisis se simplifica extremadamente ya que la capacidad de refrigeración y eficiencia queda simplificada a un par de operaciones algébricas. Pero no es un modelo de estudio lo más apropiado, ya que no siempre es posible tener estos datos, además de saltarnos un objetivo importante, que es conocer el modelo de jardín que hace más eficiente este servicio a la ciudad. Los factores más importantes implicados en la eficiencia del jardín como instrumento de climatización pasiva son los siguientes:

⇒ **Transpiración potencial de la especie.** La capacidad de transpiración de un vegetal depende de muchos factores. Para cada especie vegetal existe una combinación de factores relacionados con las condiciones ambientales (agua, suelo, nutrientes, clima, etc.), estado de salud, morfología y edad, que si se cumplen simultáneamente, la transpiración se maximiza. Cuando esto ocurre se dice que las condiciones para la especie son óptimas para la transpiración, y la capacidad de evaporar agua en dicho escenario es la transpiración potencial. Este es un aspecto poco estudiado en la fisiología vegetal de cada especie, sin embargo, se trata de condiciones semejantes a las óptimas para el crecimiento. Según este criterio, el diseño de un jardín con el propósito de crear un ambiente confortable, requiere especies vegetales con alta transpiración potencial durante los meses secos y calurosos del año. Evidentemente, las condiciones ambientales relacionadas con el régimen térmico y suelo le deben ser favorables durante todo el año, con lo que no vale cualquier especie, mientras que las condiciones de establecimiento, gestión del riego y nutrientes, y podas de formación deben ser las apropiadas para conseguir las mayores tasas de transpiración. Por tanto, si el escenario es el apropiado, la transpiración potencial de las especies es un criterio muy importante a la hora de localizar sensores meteorológicos, ya que en función de este podremos medir y discriminar jardines que a priori van a tener mayores tasas de refrigeración.

⇒ **Rango de profundidad de exploración de las raíces.** Es el intervalo de profundidad de suelo en el que las raíces activas trabajan para extraer el agua. Aunque la transpiración potencial de una especie sea muy alta, si sus raíces no alcanzan la profundidad donde se encuentra el agua, no podrán desarrollar dicha capacidad. De esta forma, una cubierta de césped (tipo grama)

tiene una alta capacidad para transpirar, sin embargo, sus cortas raíces no son capaces de aprovechar el agua a más de 70 cm. El césped clásico de países nórdicos está aun más limitado, y es incapaz de aprovechar el agua a profundidades superiores de 10 cm. Mientras, los árboles y arbustos tienen una mayor capacidad de exploración, muy variable, pero por lo general de 5 a 7 metros, con casos singulares de hasta 68 metros<sup>28</sup>, dependiendo mucho de la especie, condiciones de plantación, tratamientos culturales posteriores y tipo de riego (riego profundo o superficial)<sup>29</sup>. También es muy importante considerar la densidad radicular, ya que aunque la profundidad que alcanzan las raíces sea muy alta, esta no es efectiva si no es densa. Si el suelo lo permite, los bosques y matorrales mediterráneos tienen una alta capacidad de exploración del suelo semejante a los registrados en zonas desérticas. En la práctica, el rango de profundidad de exploración de las raíces está muy relacionado con la eficiencia del aprovechamiento del agua de lluvia y riego, y por lo general son los sistemas con estructura más diversificada los que consiguen rendimientos mayores.



Ilustración 65. *Ginkgo biloba*, una especie con altos requerimientos hídricos.

⇒ **Estructura de la canopia.** Es el modelo seguido por tallos y hojas para explorar la atmósfera. El esquema de exploración del suelo por raíces que buscan nutrientes y agua, se repite en la atmósfera con tallos y hojas, en este caso buscando la luz, dióxido de carbono y en ocasiones mayor exposición al viento<sup>30</sup>. Por lo general, grandes alturas en los árboles y diversificación de estratos de la canopia vegetal, van a dar lugar a mayores tasas de transpiración y captación de luz solar. Las hojas más altas expuestas al sol directo y viento, van a tener unas tasas de transpiración muy altas, a las

<sup>28</sup> En el desierto del Kalahari, se ha llegado a registrar que la *Boscia albitrunca* puede profundizar hasta 68 metros de profundidad.

<sup>29</sup> [Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale](#)

<sup>30</sup> Por supuesto no son los únicos, la reproducción sexual, dispersión de las semillas y una larga lista de interacciones que se realizan en la atmósfera.

que solo se opone la resistencia a transportar el líquido por raíces y tallos. Como hemos visto, algunos árboles cuentan con hojas largamente pecioladas (hojas trémulas), lo que multiplica en extremo las tasas de refrigeración por convección y transpiración, dado que el movimiento de la hoja aumenta el gradiente térmico y disminuye la capa límite de vapor. En las partes inferiores del dosel las tasas de transpiración son progresivamente menores, por la reducción continua de la radiación solar, velocidad del viento y mayor humedad relativa. No obstante, una canopia diversa se comporta en conjunto como sistema de refrigeración pasiva optimizado.

La estructura de la canopia y el rango de profundidad de exploración de las raíces, son dos criterios correlacionados que van a permitir distinguir grandes tipos de zonas verdes, desde las praderas de césped puro, arbolados no estratificados y jardines mixtos con estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo.



Ilustración 67. Una poda estructural incorrecta o ausente durante los primeros años de vida de un árbol, o una poda traumática en los siguientes crean una situación viciosa y viciada que se perpetúa y extiende con continuas podas inapropiadas durante toda la vida del árbol con el fin de aligerar la masa leñosa de un individuo estructuralmente inestable.

⇒ **Edad y estado fitosanitario.** Con la edad crece progresivamente la capacidad de transpiración de un individuo hasta llegar a un máximo donde se estabiliza, y a continuación comienza a disminuir lentamente. La edad es un parámetro a nivel de individuo muy importante para conocer el grado de transpiración. Sin embargo, a nivel de sistema o conjunto, si existe cobertura total de follaje, es posible conseguir altas tasas de evapotranspiración desde edades tempranas al establecimiento del jardín. La edad también influye en la captación de energía solar a diferentes estratos de la canopia, desplazándose hacia lugares más elevados a medida que maduran los componentes leñosos del jardín. El estado fitosanitario es un factor crítico muy influyente en la actividad de las plantas y por tanto de la transpiración, relacionado no solo con la existencia de plagas y enfermedades, sino también por el decaimiento que pueda generar una inadaptación al medio o manejo inapropiado. Desde el punto de vista de ambos criterios es importante seleccionar jardines ni muy jóvenes ni muy maduros, con buen estado fitosanitario para que dichos factores no interfieran en el estudio.



Ilustración 66. El estrangulamiento de raíz en arboles es consecuencia del desarrollo desorganizado del sistema radicular cuyo correcto crecimiento en grosor es impedido por una excesiva densidad de raíces dominantes o espiralización de la raíz principal. El resultado es una amalgama de raíces que se entorpecen unas a otras, y cuya fusión crea una estructura endeble desde el punto de vista mecánico (riesgo de caída del árbol), e ineficiente desde el punto de vista hídrico. Se trata de una deficiencia provocada en muchas ocasiones por la elección de planta de vivero de mala calidad, pasada de sabias o un mal repique de la raíz. El resultado son sistemas radiculares superficiales e ineficaces, que no solo ponen en peligro la estabilidad del árbol ([Parque del Alamillo en Sevilla](#)), sino también la eficacia a la hora de absorber el agua del suelo.

⇒ **Adaptación de la especie.** Consiste en el grado de ajuste de los requerimientos de la especie al clima, suelo, riego, contaminación, afección de plagas y enfermedades, manejo y sociabilidad con otras plantas. De este factor depende tener un buen estado fitosanitario o no. Una adaptación inapropiada trae como consecuencia el decaimiento del individuo, quedando vulnerable a situaciones de estrés, plagas y enfermedades. Aunque pueda sobrevivir en dichas condiciones, la mala calidad de vida le impide desarrollar la mayor parte de los servicios esperados de la planta.

⇒ **Medio físico.** El medio físico queda definido por las características orográficas, clima y suelo del lugar, que dependiendo del tipo de manejo, pueden ser compensadas, como ocurre con el riego y aporte extra de nutrientes o enmiendas.

Es muy importante la elección de zonas verdes cuyas especies estén adaptadas al medio físico y entorno en general, ya que si se encuentran en proceso de decaimiento, no podremos medir correctamente el potencial que pueden desarrollar.

⇒ **Tratamientos culturales y gestión.** En este criterio están incluidos todas las actuaciones y labores de jardinería, tanto del pasado como del presente reciente, incluida la gestión del agua, que aunque ha sido nombrada en otro apartado, aquí interviene a la hora de influir sobre la estructura de las raíces y canopia. Se trata de un cúmulo de factores donde todos cuentan. De esta manera, un mal manejo de una planta en cualquiera de sus estadios (reproducción, implantación y desarrollo), puede constituir una tara insalvable en el futuro (Ilustración 66 y Ilustración 67). La propia implantación del jardín es muy importante: calidad y edad de la planta del vivero, cuidados culturales y riego durante los primeros años de implantación. Posteriormente influyen aspectos como las podas estructurales y de mantenimiento, nutrientes, enmiendas, tratamientos fitosanitarios, cantidad y distribución espacial y temporal del riego.



⇒ **Tamaño del jardín y ventilación.** El tamaño del jardín y ventilación son dos factores clave que intervienen en el grado de efectividad de la refrigeración local provocada por las plantas. De esta forma pequeños jardines muy ventilados pierden efectividad por los aportes laterales de energía. Por así decirlo, el beneficio proporcionado se diluye en el entorno cercano recalentado. Por el contrario, grandes áreas ajardinadas o pequeños jardines confinados, como ocurre con los patios, pueden conservar el ambiente fresco generado. No obstante, un espacio excesivamente confinado puede conducir a una dificultad de la difusión de la humedad, provocando ambientes sofocantes.



Ilustración 68. Capacidad de esponja del jardín, una propiedad muy importante en los patios. Tafures nº 2.

⇒ **Capacidad de interceptación de agua.** Se trata de la cantidad de agua que es capaz de mantener la canopia adherida a la superficie de hojas y tallos tras un riego o lluvia. Este es un factor muy importante a considerar en las zonas verdes donde es posible realizar un riego por aspersión durante el atardecer, cuando el sol no es directo, pero el suelo y atmosfera aun están muy recalentados. Es posible potenciarlo con materiales inertes rugosos y porosos. Desde el punto de vista de ahorro del agua se trata de un manejo proscrito, ya que el agua interceptada se pierde directamente por evaporación. Sin embargo, el efecto sobre el ambiente es muy efectivo y rápido, ya que un riego de estas características ocasiona una disminución fulminante de la temperatura. Un proceso escalonado de cortos riegos por aspersión al atardecer permiten en muy poco tiempo reducir la temperatura entre 5 y 10°C. Hojas pequeñas y numerosas, rugosas, hirsutas, etc. favorecen en gran medida la capacidad de esponja de un jardín. No obstante, para poder realizar este manejo del jardín al atardecer es necesario elegir especies de plantas que no se vean afectadas por el desarrollo de hongos que aprovechan el ambiente propiciado. Este es un factor que será medido a voluntad en un mismo jardín durante un periodo significativo para poder estudiar su efectividad.

⇒ **Fuentes de calor extra.** Consideramos una fuente de calor extra a la emitida de manera activa por algún elemento del entorno urbano. Es muy importante evitar áreas urbanas donde este factor esté muy presente o una instalación influenciada por alguna fuente activa de calor, a no ser que constituya un factor a considerar en la tipología urbana, como ocurre en las grandes avenidas que pueden verse afectadas por tráfico intenso de coches, o calles con mucha presencia de aires acondicionados.

**4. Entorno geográfico.** Existen varios factores geográficos que van a ser considerados a la hora de caracterizar y localizar las estaciones meteorológicas, como son la proximidad a la periferia de la ciudad, cercanía al piedemonte de Sierra Morena y cercanía al río Guadalquivir. Se trata de distinguir factores ambientales relacionados con encontrarse más o menos alejados del centro de la isla de calor de Córdoba, o beneficiarse de la influencia climática de la masa de agua y vegetación que constituye el río Guadalquivir, o la masa de vegetación y orografía del piedemonte de Sierra Morena.



Ilustración 69. Barrio de la Judería de Córdoba.

#### 4.2.2 Clasificación y nomenclatura

Una vez expuestos los factores que influyen en el confort climático del espacio urbano, pasamos a concretar los criterios usados para agruparlos con el fin de obtener una clasificación y sistemática para nombrarlos. Entendemos que debe de tratarse una clasificación sencilla e intuitiva, que considere un número reducido de las variables más significativas, y basada en valores numéricos fáciles de medir.

Debe quedar claro que se trata de una clasificación previa y teórica, con vista a una estratificación del estudio estadístico y precursora de la clasificación definitiva una vez sean analizados los datos de las estaciones meteorológicas, tras lo cual aparecerán nuevos tipos y se simplificarán otros.

Como conjetura inicial, las variables que más influyen en el confort climático del espacio urbano son el

porcentaje de cobertura de materiales inertes, porcentaje de cobertura de vegetación y manejo del recurso agua. Con estos tres parámetros se ha procedido a elaborar una clasificación mediante un patrón triangular como el representado en la Ilustración 72. Triángulo del microclima., donde cada vértice representa una de las variables.

La base del triángulo representa la complementariedad entre el porcentaje de cobertura de materiales inertes y vegetación, mientras que el vértice dedicado al agua constituye el porcentaje de cobertura del suelo mojado. La clasificación de los modelos se establece por la división de los lados del triángulo, cuatro para la cobertura de materiales inertes y vegetación, y tres para el agua. Cada espacio urbano debe encontrar una región en este modelo, y recibirá la etiqueta correspondiente, aunque sean muchos más factores los que lo definen. La letra "V" representa la cobertura de vegetación, mientras que "U" la de inertes. Una representación de más del 90% de cobertura de una u otra es nombrada con una sola letra, mientras que para porcentajes más equilibrados (50%) son nombrados con ambas letras en orden al factor predominante. La presencia de agua es representada en el vértice superior del triángulo, correspondiendo su eje al porcentaje de agua que moja la cobertura: menos del 10% etiquetada como "s", entre el 10 y el 75% como "h" y mayor del 75% como "i".

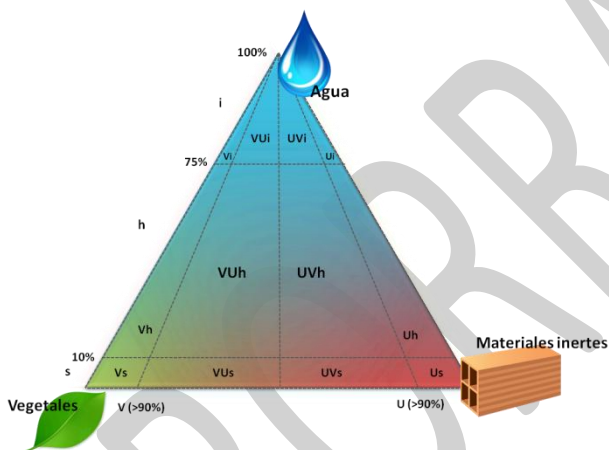


Ilustración 72. Triángulo del microclima.

Las zonas rurales, tanto naturales como agrícolas, serán también clasificadas mediante esta sistemática por su similitud a los parámetros básicos de la clasificación. De esta manera, un bosque de encinas quedará determinado en el modelo Vs, por tratarse de un lugar con alta cobertura de vegetación, sin riego. Mientras que una zona de cereal en campiña será clasificada como Us, entendiendo que en verano no va tener cobertura vegetal, y el suelo es asimilado a un material inerte poroso.

Por último, es importante reconocer que son tantos los parámetros que influyen en el microclima urbano que es muy difícil hacer un diseño de la red que contemple todas las casuísticas, y es por ello que modelos como el triángulo del microclima ayudan a realizar una determinación rápida e intuitiva de la tipología urbana a la que pertenece. Es posible que con el desarrollo de este trabajo sean incorporadas a la clasificación otros

factores adicionales si el estudio estadístico los desvela como significativos.

### 4.2.3 Descripción de los modelos urbanos microclimáticos

A continuación son descritas las tipologías urbanas consideradas en este proyecto, encajando a cada una de ellas en un tipo reconocible en la ciudad de Córdoba.

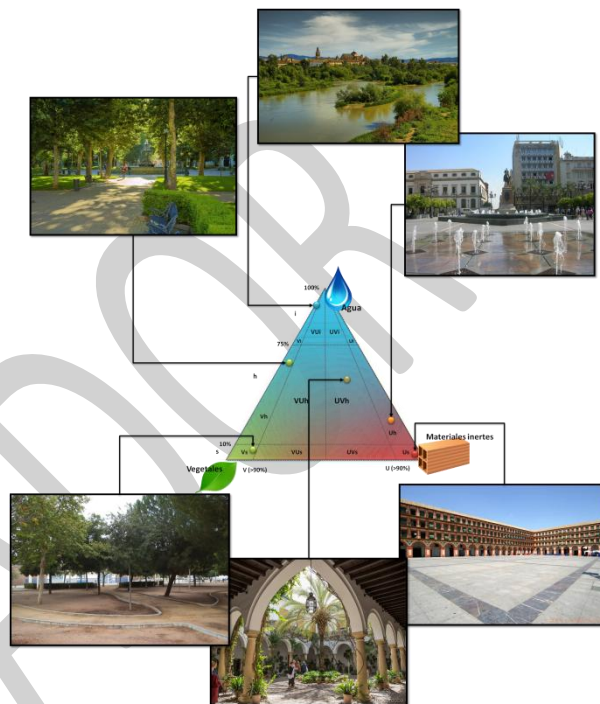


Ilustración 70. Asignación de diferentes espacios urbanos en el triángulo del microclima.



Ilustración 71. Modelo Us. Plaza de la Corredera.

**1. Modelo Us. Ilustración 71.** En este modelo se contemplan aquellas áreas urbanas selladas con más del 75% de materiales inertes, carentes de vegetación y sin elementos acuáticos. Se trata de una tipología que incluye una alta diversidad de ambientes urbanos tanto en escenarios abiertos como calles, plaza, aparcamientos, solares, como edificados, siempre y cuando carezcan de vegetación y cuerpos de agua. Las zonas de campiña de herbáceos en secano pueden ser asimiladas a esta clase.



Ilustración 73. Modelo Vs. Futura zona Verde en el Patriarca.

**2. Modelo Vs. Ilustración 73.** En este modelo son consideradas todas las áreas urbanas ajardinadas o naturales con arbolado y matorral denso al 100% con escasos materiales inertes, y escasez de riego o cuerpos de agua. En esta tipología están incluidos jardines y áreas naturales o naturalizadas del extrarradio, donde la lluvia es la única fuente disponible de agua.

**3. Modelo Vh. Ilustración 77.** En este modelo encajan todas aquellas áreas urbanas ajardinadas con alta cobertura de vegetación y suelo permeable, con escasos materiales inertes y con instalación de riego que llega a mojar en capacidad de campo entre el 10% y 75% de la cobertura de suelo. Gran parte de los jardines de Córdoba están incluidos en esta clase.



Ilustración 77. Modelo Vh. Jardines de Colón.

**4. Modelo Vi. Ilustración 74.** Son considerados en este modelo aquellas áreas ajardinadas o naturales con alta cobertura de vegetación y suelo permeable con escasos materiales inertes, y abundante presencia de agua que llega a mojar en saturación más del 75% del suelo. En esta clase entran áreas naturales y jardines acuáticos con gran cantidad de vegetación, en suelos permanentemente mojados como ocurre en las riberas de los ríos o arroyos.

**5. Modelo Uh. Ilustración 75.** En este modelo encontramos aquellas áreas urbanas selladas al 100% con materiales inertes, con escasa vegetación y con elementos acuáticos que la mantienen mojada entre el 10% y 75% de la superficie.



Ilustración 74. Modelo Vi. Ribera del Guadalquivir a su paso por Córdoba.



Ilustración 75. Modelo Uh. Plaza de las Tendillas.



Ilustración 78. Modelo UVh. Palacio de Viana.



Ilustración 76. Modelo Ui. Estación Ferroviaria de Córdoba.

**6. Modelo Ui. Ilustración 76.** Se trata de un modelo muy especial y poco representativo de áreas urbanas sellada al 100% con materiales inertes, carente de vegetación y con amplias masas de agua.



Ilustración 83. Modelo VUh. Parador de la Arruzafa.

**7. Modelo UVh. Ilustración 78.** En este modelo están incluidas aquellas áreas urbanas con predominio de materiales inertes sobre una cobertura de vegetación que supera al menos el 10% de la superficie y con una cobertura mojada entre el 10 y 75%. Este modelo es representativo para patios y urbanizaciones ajardinadas con riego y predominio de materiales de construcción. Algunos jardines públicos de Córdoba también pueden entrar en esta clase.



Ilustración 82. Modelo UVs. Plaza de San Agustín.

**8. Modelo VUh. Ilustración 83.** Corresponden a este modelo aquellas áreas urbanas con predominio de la vegetación sobre los materiales inertes que ocupan al menos el 10% de la superficie urbana, y una cobertura mojada de entre el 10 y 75%. En esta clase entrarían jardines con cierta cantidad de materiales inertes o edificaciones asociadas, o urbanizaciones con predominio de la zona ajardinada.



Ilustración 81. Modelo VUs. Calle Naranjal de Almagro.

**9. Modelo UVs. Ilustración 82.** Se trata de áreas urbanas con predominio de materiales inertes sobre una cobertura de vegetación sin riego que ocupa al menos el 10% de la superficie. En este modelo entran buena parte de las plazas con vegetación confinada sin riego.



Ilustración 79. Modelo UVi. Jardín Botánico de Córdoba.

**10. Modelo VUs. Ilustración 81.** Corresponden a este modelo aquellas áreas urbanas con predominio de la vegetación sin riego sobre los materiales inertes que ocupan al menos el 10% de la superficie urbana. Es una tipología de jardines diseñados al amparo de criterios de ahorro de agua y pocas labores de mantenimiento.

**11. Modelo UVi. Ilustración 79.** En este modelo poco representativo están incluido aquellos lugares con predominio de los materiales inertes sobre los vegetales con riego, y que al menos ocupan el 10% de la superficie, y donde existe una importante masa de agua.



Ilustración 80. Modelo VUi. Zoológico de Córdoba.

**12. Modelo VUi. Ilustración 80.** También se trata de un modelo poco representativo donde están incluidos aquellos lugares con predominio vegetación con riego sobre materiales inertes que al menos ocupan el 10% de la superficie, y donde existe una importante masa de agua.

### 4.3 Diseño espacial de la Red de Sensores Meteorológicos

El diseño de la distribución de la red de sensores meteorológicos se ha elaborado con el criterio de abarcar la totalidad de los modelos urbanos microclimáticos y la viabilidad de la localización. Por otro lado, la existencia teórica de algunos modelos urbanos según la clasificación expuesta no encuentra una representación en la realidad de la ciudad. Sobre todo son combinaciones inusuales con alta presencia de láminas de agua como el VUi y UVi.

La viabilidad de la localización es un factor muy limitante a tener en cuenta, ya que la altura a la que debe situarse el sensor la deja muy expuesta a los transeúntes. Por otra parte, es conveniente que dicha estación transmita a tiempo real, por lo que debe intentarse en todo lo posible situarlas en lugares que tenga acceso a una red Wifi. Dado que no es posible renunciar a una localización óptima para medir un microclima determinado, en algunas ocasiones habrá que recurrir a ubicar las estaciones en lugares más altos como arboles o farolas, ajustando los valores obtenidos por calibración con estaciones temporales controladas en el lugar exacto deseado. Para hacer viable la instalación de las estaciones se recurrirá a recursos imaginativos que mimeticen con el entorno un dispositivo de por sí pequeño (Ilustración 84). En todos los casos, la ubicación se realizará con el consentimiento de la entidad pública competente o propietario en su caso.

La Tabla 2 e Ilustración 85 facilitan la distribución y características generales de la red de estaciones meteorológicas según la tipología urbana y entorno diseñada para la ciudad de Córdoba, mientras que la Tabla 3 representa la correspondencia entre la localización y la información del Sistema de Ocupación del Suelo de Andalucía, así como el dato de la temperatura superficial de la imagen LandSat de Junio de 2015 (100 metros de resolución) como dos aproximaciones al comportamiento microclimático del modelo urbano. Debe tenerse en cuenta que los datos proporcionados por las imágenes de satélite como LandSat son de la temperatura superficial de los materiales, y no de la atmosfera colindante.



Ilustración 84. Estación meteorológica mimetizada en un alcornoque. Sierra Morena de Córdoba. Las estaciones meteorológicas en este tipo de zonas no permiten la transmisión de datos a tiempo real.

Id	Nombre	Localización	Modelo	Entorno urbano	Tipo
1	Parking de la Diputación Provincial de Córdoba	Palacio de la Merced	Us	Centro Ciudad	Wifi
2	Jardines de Colón	Plaza de Colón	Vh	Centro Ciudad	Wifi
3	Sotos de la Albolafia	Avenida del Alcázar	Vi	Ribera	Dataloger
4	Parque Zoológico de Córdoba	Avenida Linnneo	VUi	Ribera	Wifi
5	Vereda del Villar de Sierra Morena	Vereda del Villar	Vs	Sierra	Dataloger
6	Camino del Santuario de las Ermitas de Córdoba	Camino del las Ermitas de Córdoba	Vs	Sierra	Dataloger
7	Patio de Comunidad de Vecinos Tafures	Calle Tafures	UVh	Centro Ciudad	Wifi
8	Patio Plaza Santa Marina	Plaza Santa Marina	Us	Centro Ciudad	Dataloger
9	Palacio de Viana	Plaza de Don Gome	UVh	Centro Ciudad	Wifi
10	Barrio del Brillante	Calle Mayoral	VUh	Sierra Ciudad	Wifi
11	Calle de la Feria	Calle de la Feria	Us	Centro Ciudad	Wifi
12	Tejado Verde	Calle Tafures	UVh	Centro Ciudad	Wifi
13	Terraza	Calle Tafures	Us	Centro Ciudad	Wifi
14	Jardín Botánico de Córdoba	Avenida Linnneo	UVi	Ribera	Wifi
15	Naranjal de Almagro	Calle Naranjal de Almagro	VUs	Periferia Ciudad	Wifi
16	Plaza San Agustín	Santa Marina	UVs	Centro Ciudad	Dataloger
17	Plaza de las Tendillas	Plaza de las Tendillas	Uh	Centro Ciudad	Dataloger
18	Fuente de la Avenida de la Libertad	Avenida de la Libertad	Uh	Periferia Ciudad	Dataloger
19	Estación de Trenes de Córdoba	Avenida de la Libertad	Ui	Periferia Ciudad	Dataloger
20	Decathlon Córdoba	Decathlon Córdoba	Us	Vega	Wifi

Tabla 2. Red de Estaciones Meteorológicas Microclimáticas.

Id	Modelo	T LandSat	Tipo	Ocupación SIOSE						
				Arbolado	Matorral	Suelo	Agua	Edificación	Vial	Jardín
1	Us	32.8 °C	Ensanche					80%	20%	
2	Vh	29.9 °C	Jardines					10%	15%	75%
3	Vi	27.1 °C	Cursos de Agua				100%			
4	VUi	29.9 °C	Complejo Cultural					5%	20%	75%
5	Vs	26.1 °C	Matorral denso arbolado	20%	80%					
6	Vs	28.2 °C	Matorral denso		100%					
7	UVh	33.4 °C	Casco					85%	15%	
8	Us	33.3 °C	Casco					85%	15%	
9	UVh	33.5 °C	Casco					85%	15%	
10	VUh	29.9 °C	Ensanche				10%	45%	25%	20%
11	Us	33.5 °C	Casco					85%	15%	
12	UVh	33.4 °C	Casco					85%	15%	
13	Us	33.4 °C	Casco					85%	15%	
14	UVi	28.1 °C	Complejo Cultural					30%	25%	45%
15	VUs	31.8 °C	Jardín						50%	70%
16	UVs	33.0 °C	Casco					85%	15%	
17	Uh	32.3 °C	Jardín						45%	55%
18	Uh	32.4 °C	Jardín					10%	15%	75%
19	Ui	36.5 °C	Red Ferroviaria					20%	80%	
20	Us	31.5 °C	Pastizal			75%	25%			

Tabla 3. Correspondencia de la Red de Estaciones Microclimáticas con el Sistema de Ocupación Urbano de Andalucía (SIOSE) e imagen LandSat de Junio del 2015.

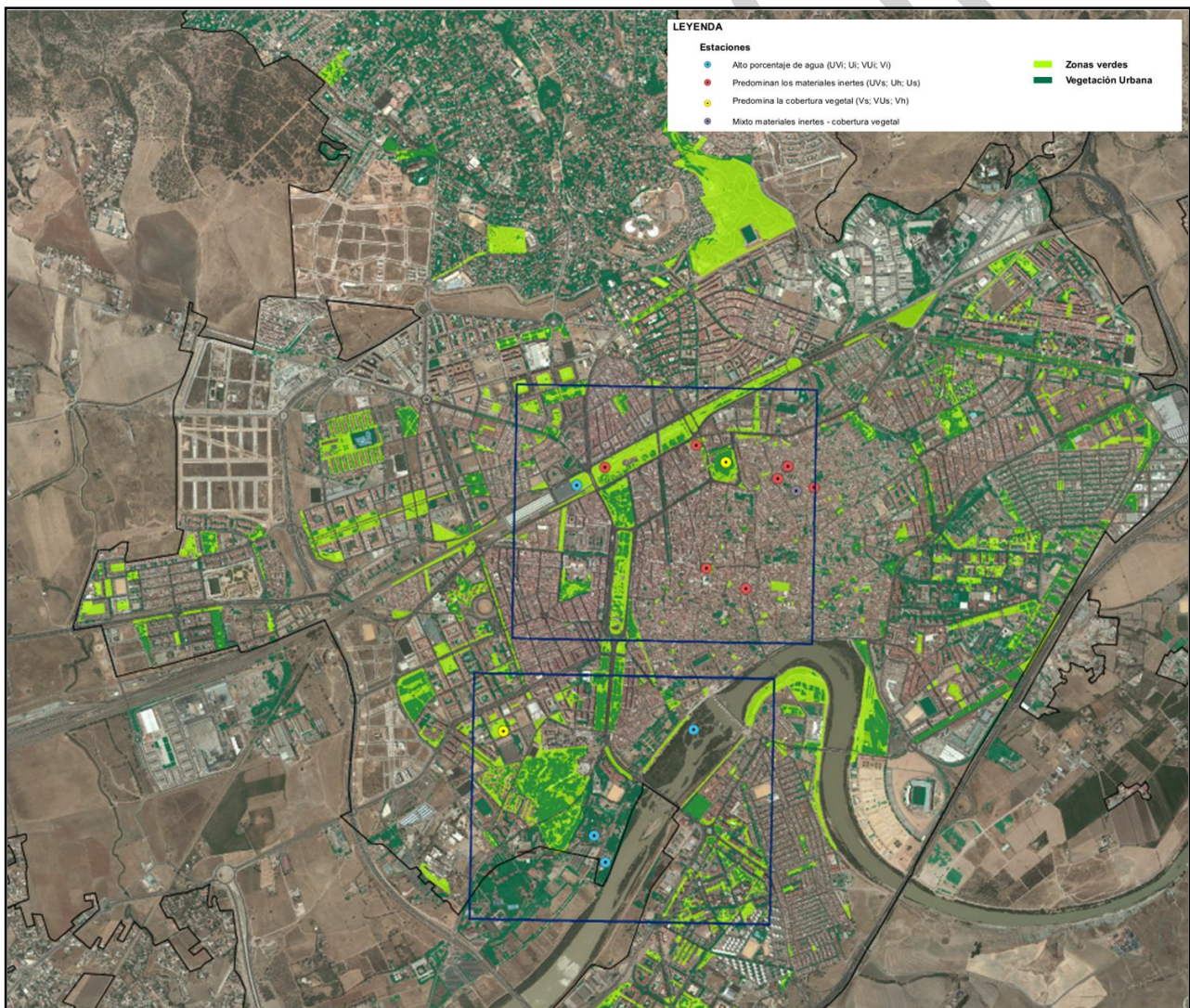


Ilustración 85. Distribución espacial de la Red de Estaciones Meteorológicas Microclimáticas.

#### 4.4 Diseño Instrumental de la Red de Sensores Meteorológicos

La solución propuesta se compone en esencia de dos partes: la primera el diseño de una estación meteorológica y por la otra el diseño de una aplicación web que permita el acceso a la información recopilada por las estaciones.

El objetivo de la primera parte consiste en el diseño de una estación meteorológica económica, flexible y con poco o nulo coste de mantenimiento (en todos los aspectos: coste eléctrico, de personal de mantenimiento, de infraestructura, etc.) (Tabla 4). Para ello se va a utilizar un diseño de estaciones basadas en microcontrolador, concretamente Arduino, acompañado de tantos sensores como se desee, y de alguna forma de almacenar o transmitir los datos que recopila.

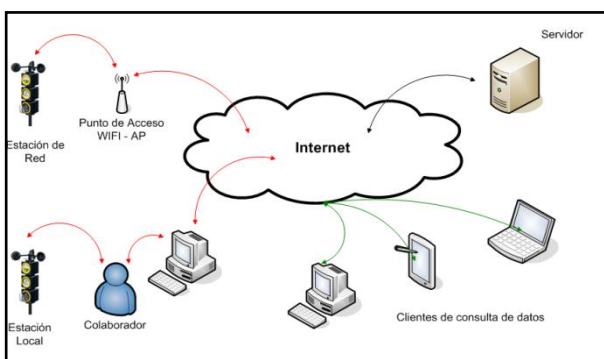


Ilustración 86. Arquitectura del sistema

La familia Arduino es diferente en su concepción, se trata de una plataforma de hardware abierto basado en microcontroladores (normalmente de la familia Atmel) conectados en una placa de desarrollo rápido. Además tiene un entorno de desarrollo propio que facilita enormemente las tareas de programación y depurado. Al estar basado en microcontroladores la potencia de cálculo y la cantidad de memoria es infinitamente menor que en los SoC (System-on-Chip), de hecho están en el orden de los 16 MHz, con una memoria para programas de 32 KB, y de 2 KB de RAM.

En cambio, lo bueno de esta arquitectura es que está preparada para trabajar directamente con sensores, y que el consumo eléctrico es bastante reducido, del orden de los 50 mA. Además con pocas modificaciones, muchas de ellas facilitadas en forma de shield muy fácil de utilizar, puede funcionar con sistemas actuadores, con redes Ethernet, Wifi, etc.

Para trabajar con la plataforma Arduino se utiliza el entorno de desarrollo Arduino IDE 1.5, existente en el sitio web oficial de la plataforma. Y que consta de un editor de código con corrección de sintaxis, compilador y cargador de código (programador) para todos los miembros de la familia, así como el acceso a la consola serie de conexión con el microcontrolador, y el conjunto de drivers necesarios para utilizarse en la mayoría de los sistemas operativos habituales.

Este diseño de estaciones permite una alta flexibilidad en la configuración y programación de las mismas, y a su vez permite la creación de estaciones que envíen

sus datos al repositorio en tiempo real, como el almacenamiento de las observaciones en alguna unidad de almacenamiento local (Ilustración 87). Lo que permite disponer de una red de observación en línea, al menos para aquellas unidades que tengan sistema de comunicación.

Para el diseño de la comunicación entre las estaciones y el servidor central, se decide utilizar estaciones de “comunicación autónoma”, es decir, que es la propia estación (unidad exterior) la que se comunique directamente con Internet, sin necesidad de consola interior, ni de ningún PC intermediario. Lo cual también supone una reducción de coste de mantenimiento, ya que evita el tener un PC siempre funcionando para la comunicación (Ilustración 86).

Tabla 4. Coste Unitario Final por componentes y según tipo de estación.

Componente	Tipo de Estación	
	Red	Datalogger
Microcontrolador Arduino FIO	20,00 €	20,00 €
Xbee Wifly RN-XV Module	31,95 €	-
Tarjeta SD Kingston 4 GB	-	6,95 €
Sensor de temperatura y humedad DHT22	10,95 €	10,95 €
Batería LiPo 850 mAh	7,90 €	7,90 €
Placa solar 5v 230mA	11,95 €	11,95 €
Caja estanca 107x55x36 mm	2,01 €	2,01 €
<b>TOTAL</b>	<b>84,76 €</b>	<b>59,76 €</b>

La otra parte del proyecto, la aplicación servidora. Se descompone en dos subsistemas funcionalmente poco dependientes, por un lado el subsistema de captación de datos desde las estaciones, y por el otro una aplicación web al uso, para la gestión de la configuración de las estaciones y la consulta de los datos meteorológicos.

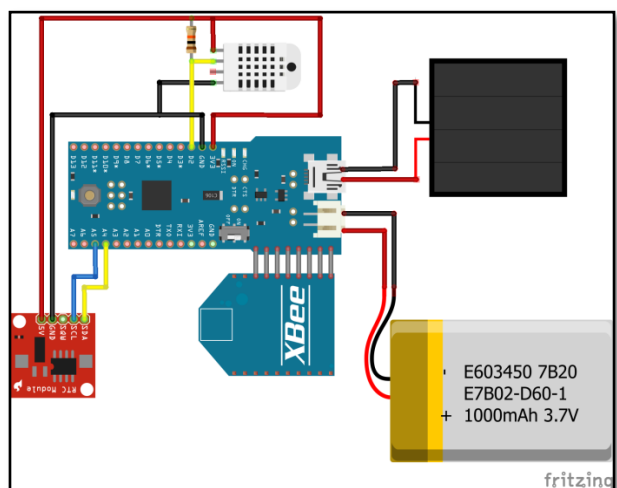


Ilustración 87. Esquemas de conexión del prototipo de red final.

El primero de los subsistemas básicamente se trata de un servicio de almacenamiento de información, que a través de un protocolo lo más simplificado posible (una única petición web), permite la autenticación de la estación, la recepción y preprocesado de la información, y el almacenamiento de la misma.

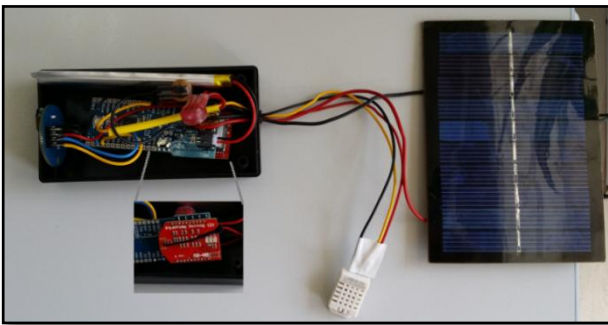


Ilustración 88. Fotografía del prototipo de red final.

El segundo subsistema es una aplicación web habitual para la gestión de un inventario de estaciones de la red, un catálogo de componentes para la creación de distintas configuraciones de estación y una serie de consultas alfanuméricas y gráficas de los datos del repositorio de muestras de datos del sistema.

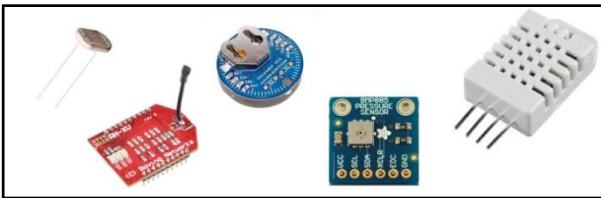


Ilustración 90. Detalle de componentes usados

Para diseño del subsistema de inventario se utilizan herramientas libres para el modelado (Eclipse UML), la creación del diagrama de secuencias (Quick Sequence Diagram Editor) y el modelado de datos (MySQL Workbench).

Como arquitectura base del proyecto, se utiliza una arquitectura basada en el patrón de diseño orientado a capas (patrón Layers) en tres capas, para lo cual se hace uso de la tecnología J2EE. Más concretamente se utiliza el framework Spring MVC que facilita la implantación de soluciones basadas en el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC). El apartado de persistencia de datos recae en una solución basada en Hibernate y el gestor de base de datos MySQL.

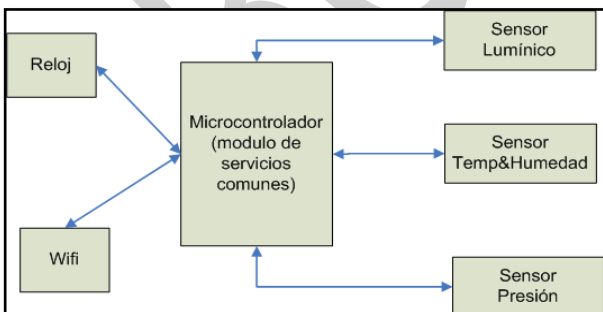


Ilustración 92. Diagrama dependencia de componentes

Este interfaz es accesible desde cualquier dispositivo, incluido el móvil, mediante el siguiente enlace:

<http://laboratoriorediam.cica.es/meteoapp>

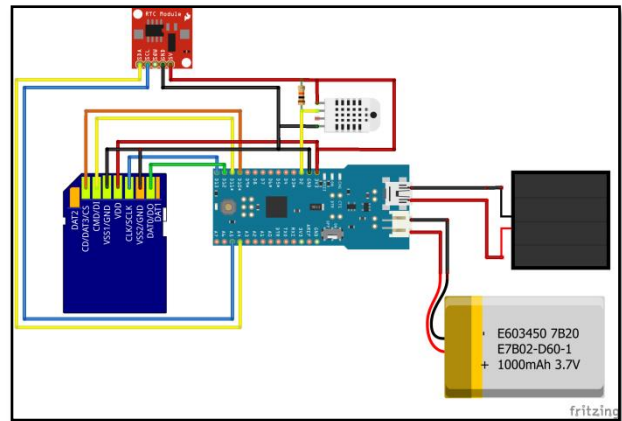


Ilustración 89. Esquemas de conexión del prototipo datalogger final.

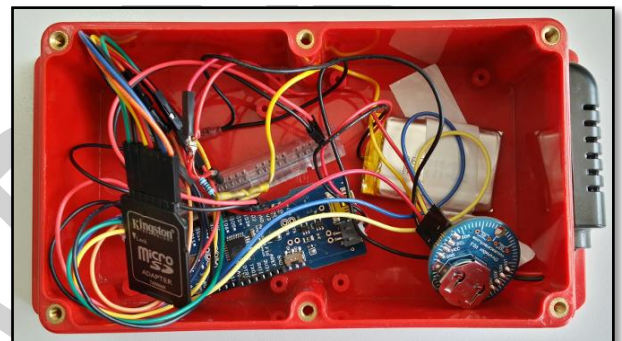


Ilustración 91. Fotografía del prototipo datalogger final

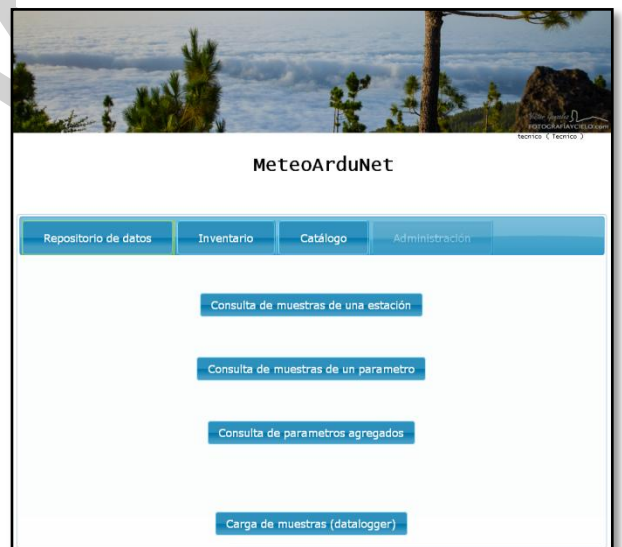


Ilustración 93. Interfaz de Inicio de Consulta de BDD

Previamente al menú principal se despliega un dialogo para logarse. Para las consultas el usuario debe logarse de la siguiente forma:

usuario: tecnico

clave: 36m454



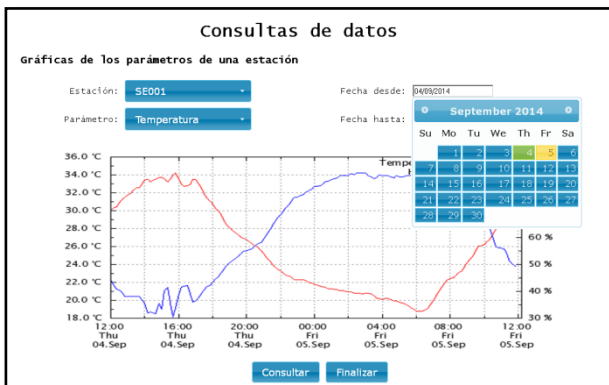


Ilustración 95. Gráficas de datos



Ilustración 96. Consulta de datos en dispositivo móvil.

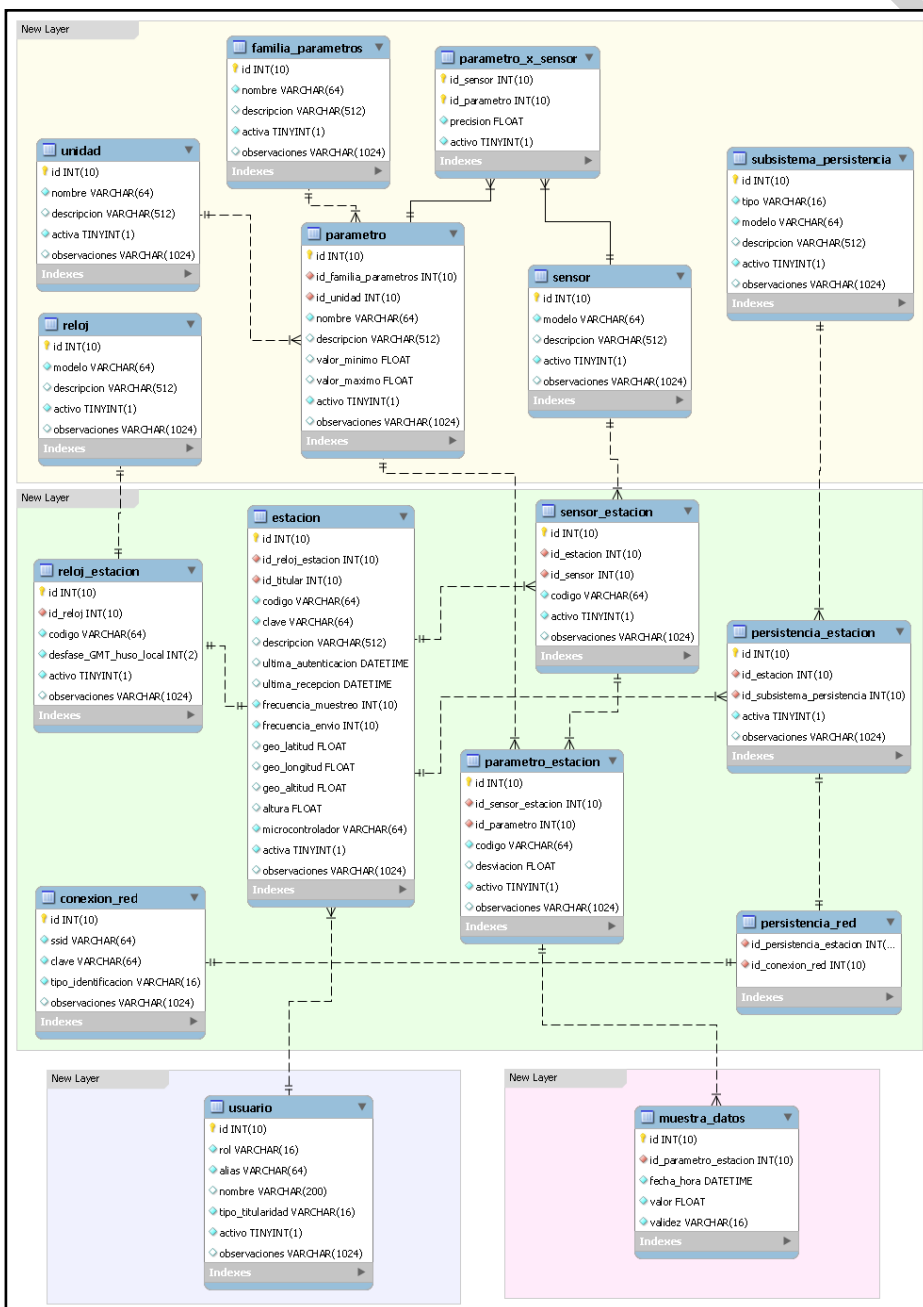


Ilustración 94. Modelo de Datos de la BDD.

#### 4.5 Difusión Web

La consecución de este proyecto lleva consigo la elaboración de una página Web pública que exponga, difunda y dé cobertura de comunicación a todos los ciudadanos sobre los valores y servicios que prestan los elementos vegetales y zonas verdes a las ciudades, exponiendo en continuo el conocimiento existente, información a tiempo real, metas y resultados obtenidos a lo largo de su desarrollo.

Esta plataforma Web constará de una página de inicio con la presentación del proyecto, que a su vez de acceso a todos las partes de las que consta. Mucha de la información presente en esta memoria contribuirá a los contenidos de la Web pública. En la presentación inicial se expondrán de manera resumida la justificación y objetivos del proyecto, así como los métodos e instrumentos ideados para realizarlo. Con el fin de ofrecer la posibilidad de profundidad en cada uno de los contenidos y aportar una perspectiva conjunta, se dará acceso a todos los capítulos presentados en los antecedentes mediante un despliegue escalonado de la información.

Por otra parte se dará acceso a la consulta de los datos proporcionados por la red de estaciones microclimáticas, mediante un interfaz que permita configurar las consultas ideadas por el usuario, permitiendo la representación de graficas con datos brutos o agregados, así como la descarga de tablas.

Recordemos que el objetivo principal de este proyecto consiste en medir la capacidad que tienen los vegetales para cambiar el clima local de un lugar determinado en diversidad de situaciones y contextos, con miras a evaluar el coste de oportunidad, es decir lo que perdemos y ganamos cuando optamos por crear ambientes urbanos carentes de vegetación y riego. Los resultados obtenidos con este fin deben quedar muy claros, no solo exponiendo los resultados directos medidos por los cambios en variables físicas claras como temperatura o humedad, también deben quedar claros los impactos previsibles en los sectores importantes de la ciudad, como la salud, movilidad, turismo, gasto energético en edificios, etc. En la difusión de los resultados también debe quedar muy claro el papel de las zonas verdes como instrumento para amortiguar el impacto sobrenvenido por el cambio climático, y que previsiblemente tendrá consecuencias muy duras en la ciudad de Córdoba.

Es muy importante tener una visión futura de la ciudad con la perspectiva de este proyecto, y es por este motivo que se reservará una sección dedicada a visualizar de manera virtual la imagen transformada de diferentes puntos de la ciudad con proyectos de revegetación.

Por otra parte, esta Web debe contar con un visor cartográfico que recoja la información correspondiente a parques, jardines, arbolado callejero y zonas naturales de la ciudad de Córdoba y su entorno. En este sentido, es probable que a la hora de desarrollar este proyecto, surja como propuesta la creación de un SIG de parques, jardines y arbolado público, y que entre otras funciones abastezca de información a este visor.

La Web de difusión también debe contener una visión de conjunto sobre el modelo de ciudad deseado en este aspecto y como este responde a las necesidades

de los ciudadanos y su adaptación al clima actual y futuro. Como objetivos prácticos, uno de los productos de este trabajo es crear y difundir un decálogo de criterios o manual de buenas prácticas para la planificación y gestión de jardines, arbolado callejero, patios, y medio urbano en general con el objetivo de mejorar la calidad climática de la ciudad.

Por último, la comunicación con la ciudadanía debe realizarse a varios niveles. Un nivel básico que responda al registro de comentarios, opiniones y respuestas en cada uno de las secciones donde quepa un debate y discusión de lo expuesto, así como otro general abierto a diferentes temáticas planteadas sobre la marcha. Sin embargo, este tipo de foros no responde a planteamientos más avanzados y opiniones más elaboradas, por lo que también está prevista una sección a modo de entradas de Blog, donde queden publicados textos e imágenes de seguidores.

#### 4.6 Conclusión a la primera parte

El presente proyecto tiene como fin implícito ayudar a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos de hoy y del mañana en ciudades como Córdoba, en un factor tácito y fundamental como el clima local, que trasciende sobre todos los aspectos de la sociedad, y al que se acepta como un hecho imperturbable, al que solo podemos hacer frente al amparo de un hábitculo climatizado.

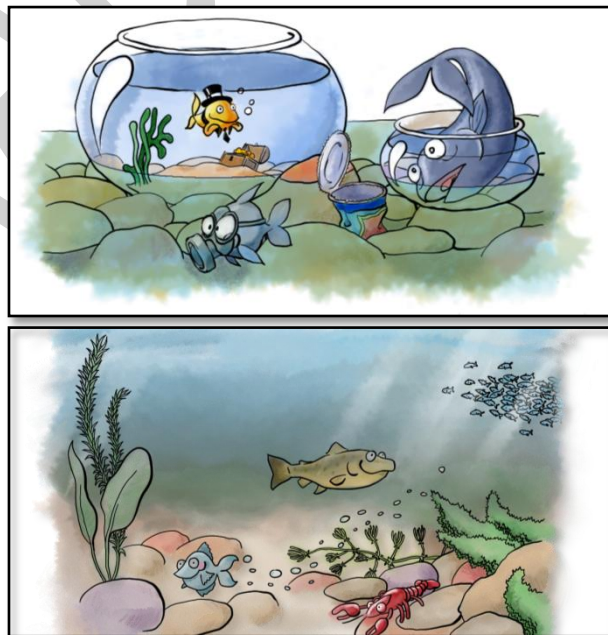


Ilustración 97. El Clima Local: un bien común. Manuel Hernandez.

En este sentido, es de prever que si la tesis de este proyecto queda demostrada, como parece indicar la ciencia, la historia y la sensación de muchos ciudadanos, surja entonces un grave problema donde no lo había antes, dado que si el clima local puede mejorarse mediante instrumentos sencillos como la vegetación y el agua, automáticamente pasará a constituir una responsabilidad ineludible para los ayuntamientos. Mientras no se demuestre este hecho, el confort climático será un problema de cada cual, y que resolverá en función de sus recursos y necesidades.

## 5. Anexos

### 5.1 El Clima de Andalucía del Siglo XXI

#### 5.1.1 El Clima a finales del siglo XX

La Ilustración 99 representa una clasificación de 6 grupos climáticos para toda Andalucía, como la agrupación de 15 clases bioclimáticas obtenidas, mediante el uso de un algoritmo de clasificación no supervisado de cinco variables bioclimáticas continuas: DF o *disponibilidad neta anual de tiempo para la función fotosintética*, TMMF o *temperatura media del mes más frío*, *temperatura media del mes más cálido* o TMMC, número de días de helada NDF y número de días de calor NDC. Este coctel de variables no es casual, sino que representa dos principios básicos en ecología, la "producción primaria" y el principio de "Liebig o factor limitante". Como puede observarse, esta clasificación tiene una correspondencia clara con los grandes grupos de bioclimas de Andalucía, perteneciendo cada una de ellas a un recinto o habitáculo en el espacio definido por estas cinco variables, que delimita las posibilidades de crecimiento de un ecosistema o cultivo, sin limitaciones edafológicas. Los grupos climáticos en los que se agrupan son descritos a continuación:

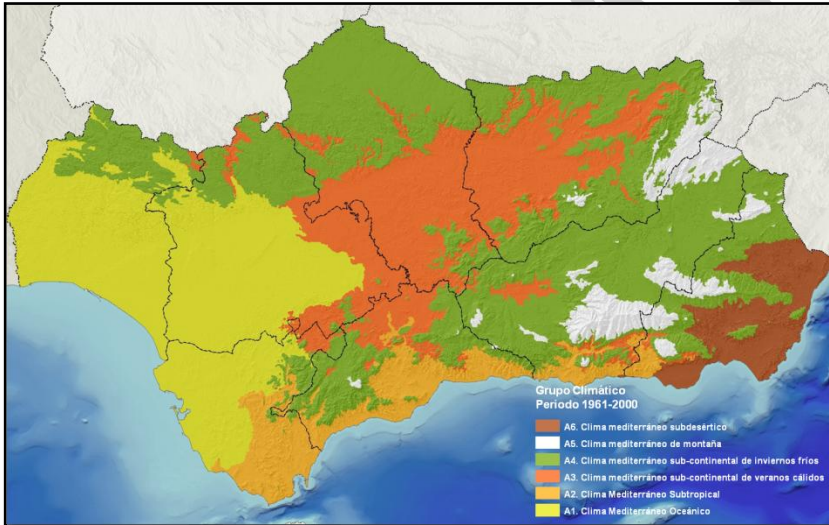


Ilustración 99. Distribución de los principales grupos climáticos en el periodo 1961-2000.

**A1. Clima Mediterráneo Oceánico.** Ilustración 98: este clima se da en toda la región influenciada por la costa Atlántica Andaluza, que suaviza las temperaturas y aporta una humedad notable a la región. Ascende por el Valle Bajo del Guadalquivir hasta transformarse en A3. Esta clase agrupa a cuatro unidades bioclimáticas, diferenciadas básicamente por la precipitación y grado de continentalidad.

**A2. Clima Mediterráneo Subtropical.** Ilustración 100: propio de la costa mediterránea, se caracteriza por las temperaturas suaves y ausencia de heladas. Las precipitaciones son variables, aumentando según se avanza hacia el oeste, o en altitud. Como en el caso de A1, agrupa a cuatro clases bioclimáticas en función de la precipitación y grado de continentalidad, de las que

una de ellas constituye un enclave muy característico en la zona de influencia del Estrecho de Gibraltar, rizado por sus elevadas precipitaciones. Es muy semejante a A1, distinguiéndose por su casi nulo número de días de frío, y bajo número de días de calor.



Ilustración 98. Grupo climático A1. Clima Mediterráneo Oceánico. Lora del Río (Sevilla). Autor: María Rosa Cordón Pedregosa.

**A3. Clima mediterráneo sub-continental de veranos cálidos.** Ilustración 103: se extiende por el Valle Medio del Guadalquivir. A modo de corona, se ma en A4 cuando el carácter continental se hace más severo. Se caracteriza por presentar temperaturas días anuales elevadas y por tener veranos muy cálidos. Los inviernos son frescos y con heladas ocasionales. Las precipitaciones presentan sus máximos en primavera y otoño. Esta clase se divide en dos unidades bioclimáticas diferenciadas por su mayor o menor precipitación y grado de continentalidad.

**A4. Clima mediterráneo sub-continental de inviernos fríos.** Ilustración 104: este clima es característico de casi toda la zona interior y elevada que rodea al Valle del Guadalquivir, penetrando hacia Andalucía Oriental hasta la misma base de las cadenas montañosas donde deriva a A5. Sus veranos son cálidos, aunque no tanto como en A3, y los inviernos muy fríos, con un alto número de días. Este grupo climático está integrando por hasta 6 tipos diferentes de bioclimas con un amplio rango de precipitaciones.



Ilustración 100. Grupo climático A2. Clima Mediterráneo Subtropical. Nerja (Málaga). Costa tropical.



Ilustración 103. Grupo climático A4. Clima mediterráneo subcontinental de inviernos fríos. Sierra de Quesada. Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

**A5. Clima mediterráneo de montaña. Ilustración 102:** se da en todas las zonas de media y alta montaña de las Sierras que alcanzan los 2000 metros de altura. Se caracteriza por presentar inviernos muy fríos y largos, y veranos muy cortos y poco calurosos. Se trata de un grupo bioclimático de mucho carácter constituido por un solo bioclima, donde buena parte de sus precipitaciones lo hace en forma de nieve.

**A6. Clima mediterráneo subdesértico. Ilustración 101:** este clima es característico de la zona con influencia costera del este de Andalucía. Se caracteriza por sus temperaturas suaves, ausencia de heladas y muy bajas precipitaciones. Es un clima con un carácter muy marcado, con una sola unidad bioclimática asociada.



Ilustración 104. Grupo climático A3. Clima mediterráneo subcontinental de veranos cálidos. Campiña de Córdoba. Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

La **Tabla 5** muestra el sumario de cada grupo climático, promedio de las variables que han servido para su clasificación, así como otras variables climáticas de referencia. Estos valores son puramente orientativos, ya que estos grupos climáticos integran bioclimas muy variables, sobre todo a lo que la precipitación se refiere.

### 5.1.2 Evolución del Clima en el siglo XXI

El clima del futuro cercano se construye mediante los denominados *Modelos de Circulación General* (MCGs), que son potentes simuladores meteorológicos que reproducen a nivel global las condiciones más im-



Ilustración 101. Grupo climático A6. Clima mediterráneo subdesértico. Caldera de Majada Redonda, Cabo de Gata. Autor: Javier Hernández.

portantes del clima. Cada MCG es ejecutado y alimentado con la evolución de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) prevista en los denominados escenarios económicos mundiales. El resultado es un abanico de prospectivas que escudriña el futuro del clima, acotando las posibilidades de cambio más probables. Estos resultados se materializan en un conjunto de datos temporales de baja resolución espacial, cuya aplicación a escala local requiere el uso de los denominados métodos de "downscaling". Para el caso concreto de Andalucía, dichas base de datos son tratadas con los "modelos de downscaling estadístico" y las series históricas climáticas contenidas en la *Base de Datos del Subsistema Clima* de la REDIAM.



Ilustración 102. Grupo climático A5. Clima mediterráneo de montaña. Sierra de las Nieves (Málaga). Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

Para predecir el clima del siglo XXI en el proyecto *Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía* (ELCCA), se han generado simulaciones futuras para 4 clases de MCGs (BCM2, EGMAM, CNCM3, ECHAM5), en 3 escenarios de emisiones (A2, A1B y B1) y el escenario de referencia único de partida, o clima del pasado (1961-2000). Esta simulación ha dado lugar en un proceso escalonado, a multitud de variables climáticas y bioclimáticas, idoneidad de especies forestales, clasificaciones bioclimáticas, y así una considerable cantidad de información con distribución espacial.

A continuación va a exponerse un análisis preliminar de las variables más sobresalientes agregadas para toda la región andaluza, para cada combinación de modelo y escenario (4x3+1=13). Posteriormente se procederá a realizar un análisis integral y local de los resultados obtenidos, orientando la dirección de las posibles repercusiones que el cambio climático tendrá en Andalucía en el presente siglo, según los grupos climáticos expuestos anteriormente y variables climáticas básicas por provincias.

Tabla 5. Valores medios de las variables climáticas y bioclimáticas más importantes durante el periodo 1961-2000 para la distribución de grupos climáticos del mismo periodo (1961-2000).

Grupo Climático	DF (horas)	Temperaturas medias °C (Anual)							(mm)			Días de	
		Mes más cálido	Mes más frío	Mínima	Máxima	Media	Máximas del mes más cálido	Mínimas del mes más frío	Precipitación	Nieve	ETo	Frío	Calor
A1. Clima Mediterráneo Oceánico	2308	26,3	10,5	11,6	24,1	17,8	34,3	5,6	584	0	1034	6,6	41,7
A2. Clima Mediterráneo Subtropical	3009	25,0	11,0	12,7	21,9	17,2	30,5	7,1	719	0	863	3,8	10,9
A3. Clima mediterráneo sub-continental de veranos cálidos	1871	26,9	8,5	10,3	23,5	16,8	35,4	3,4	531	0	1023	16,5	49,7
A4. Clima mediterráneo sub-continental de inviernos fríos	1968	24,7	7,0	8,5	21,0	14,7	32,9	2,1	620	10	953	33,2	29,9
A5. Clima mediterráneo de montaña	1946	20,5	3,4	3,9	17,1	10,4	29,3	-1,7	807	365	877	84,9	6,8
A6. Clima mediterráneo subdesértico	95	26,2	10,8	12,3	23,0	17,6	32,1	5,9	236	0	947	8,2	17,7

### 5.1.3 Resultados Generales

Comenzando por la *temperatura anual*, la **Tabla 6** recoge los resultados para toda Andalucía según los diferentes modelos y escenarios estudiados en los distintos periodos climáticos. Como puede apreciarse arroja un rango máximo de aumento entre los 3,9 °C para el MCG CNCM3 y escenario A2, y los 1,6 °C que predicen los MCG BCM2 y EGMAM en el escenario B1.

Por otra parte, la **Tabla 7** expone con la misma estructura, los resultados de la *precipitación anual* en mm. A diferencia de la temperatura, la precipitación es predicha con más margen de error durante la regionalización de los MCGs.

Efectivamente, la incertidumbre sobre el comportamiento de la precipitación ya es una herencia de los propios MCGs, ya que Andalucía es una región climática cercana al punto de inflexión límite entre las zonas que van a aumentar las precipitaciones, de las que van a disminuir. Unos modelos la colocan en un lado y otros en el contrario. A esta incertidumbre, se suma la propia de los modelos de regionalización, y de hecho, en los escenarios de Cambio Climático en el 3<sup>er</sup> Informe del IPCC, el margen de incertidumbre era mayor que la propia variación de la precipitación prevista, lo que ya no ocurre en el 4<sup>o</sup>.

De esta forma, la actualización de los escenarios de Cambio Climático al 4<sup>o</sup> Informe del IPCC comienza a despejar la incertidumbre de si las precipitaciones aumentarán o no en Andalucía. En la tabla de precipitación anual puede apreciarse una disminución generalizada de las lluvias en todos los modelos y escenarios, cuyo máximo por modelo siempre coincide en el escenario A2, salvo en el EGMAM, arrojando la mayor variación en el modelo BCM2, precisamente el más optimista a la hora de predecir las temperaturas. De esta forma el modelo BCM2 y escenario A2, predice para la generalidad de Andalucía una disminución de más del 26,6% de la precipitación anual, mientras que en el polo opuesto y para el mismo escenario el MCG EGMAM estima dicha disminución en un 13,7%. En valores absolutos, esta variación se transforma en una disminución de 157 mm y 81 mm en el peor de los casos.

Tabla 6.

Modelo	Escenario	Temperatura Anual (°C)				
		1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia
CNCM3	A1b	16,0 °C	17,0 °C	18,4 °C	19,2 °C	3,2 °C
	A2		16,9 °C	18,2 °C	19,9 °C	3,9 °C
	B1		17,1 °C	17,5 °C	18,1 °C	2,1 °C
BCM2	A1b		16,5 °C	17,5 °C	18,4 °C	2,4 °C
	A2		16,7 °C	17,3 °C	18,9 °C	2,9 °C
	B1		16,6 °C	17,0 °C	17,6 °C	1,6 °C
ECHAM5	A1b		16,8 °C	18,2 °C	19,6 °C	3,5 °C
	A2		16,7 °C	17,9 °C	19,7 °C	3,6 °C
	B1		16,7 °C	17,2 °C	18,3 °C	2,3 °C
EGMAM	A1b		16,7 °C	17,6 °C	18,7 °C	2,7 °C
	A2	16,7 °C	17,8 °C	19,2 °C	3,2 °C	
	B1	16,5 °C	17,2 °C	17,6 °C	1,6 °C	

La **Tabla 11** contiene en esta misma línea, los resultados de la *evapotranspiración de referencia* (ETo) para toda Andalucía. La evapotranspiración de referencia es estimada a partir de un número considerable de variables climáticas y orográficas, de las que solo la temperatura y humedad relativas son proyectadas al futuro bajo condiciones de cambio climático. De esta manera, la insolación y el viento, aunque previsiblemente cambiantes, se asumen constantes a lo largo del tiempo. En definitiva, solo las condiciones cambiantes de la temperatura van a influir sobre la ETo.

Tabla 7.

		Precipitación Media Anual (mm)					
		Periodo Climático					
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%
CNCM3	A1b	589	573	494	478	-111	-18,9%
	A2		564	476	477	-112	-19,0%
	B1		524	538	497	-92	-15,6%
BCM2	A1b		537	484	450	-139	-23,6%
	A2		524	469	432	-157	-26,6%
	B1		549	471	501	-88	-14,9%
ECHAM5	A1b		545	482	484	-105	-17,8%
	A2		506	517	442	-147	-24,9%
	B1		552	524	492	-97	-16,4%
EGMAM	A1b	520	511	483	-105	-17,9%	
	A2	510	481	508	-81	-13,7%	
	B1	565	517	504	-85	-14,4%	

Los máximos de ETo siguen la misma secuencia que los máximos de temperatura según escenarios. Así el escenario A2, vuelve a ser el más pesimista, arrojando un aumento de entre el 19,6% y el 14% de la ETo. El modelo y escenario más optimista para esta variable es el BCM2 en B1.

B1). Sin embargo, ésta es una variable climática, que analizada en toda Andalucía, se diluye en exceso, dada la heterogeneidad de su distribución y que su tope inferior (0 días) es muy frecuente en toda la zona de influencia costera, por lo que un análisis menos agregado puede dar lugar a conclusiones más interesantes.

En el otro extremo y muy relacionado con las olas de calor, el número de días con temperatura mayor de 35 °C es un tro bioclimático muy importante para multitud de res (salud, turismo, industria, urbanismo, medioambiente, agricultura, etc.). Su posible evolución hasta finales de siglo queda recogida en la **Tabla 8**. En ella podemos ver un considerable aumento desde el estado actual de

33,8 días a 61,6 días como es el caso del escenario A2 del CNCM3 o 21,8 días en el B1 de BCM2.

Tabla 8.

		Número anual de días de calor (días)				
		Periodo Climático				
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia
CNCM3	A1b	33,8	48,3	66,7	83,0	49,2
	A2		47,2	65,3	95,4	61,6
	B1		48,8	57,4	64,7	31,0
BCM2	A1b		42,2	55,3	68,8	35,0
	A2		41,0	52,7	76,0	42,2
	B1		42,7	49,5	55,6	21,8
ECHAM5	A1b		46,0	70,2	90,5	56,7
	A2		45,1	64,7	92,6	58,9
	B1		45,1	54,2	74,6	40,8
EGMAM	A1b	49,2	66,7	86,0	52,2	
	A2	53,1	70,7	93,1	59,3	
	B1	47,2	59,6	63,6	29,8	

Un tipo de variable bioclimática muy interesante tanto en agricultura como medio ambiente, es el número de días de helada, o lo que es igual el número de días donde la temperatura mínima es igual o menor que 0 °C.

Relacionado con la distribución temporal y espacial de la precipitación y evapotranspiración, el balance hídrico da una idea del estrés al que va a verse sometida la vegetación con el cambio climático. Para toda Andalucía la **Tabla 12** recoge esta evolución según modelos y escenarios. Como cabría esperar en un contexto de mayores turas y menores precipitaciones, el balance hídrico que función de ambos se reduce considerablemente en todos los casos estudiados. La disminución del balance hídrico tendrá un efecto directo y considerable, dada su magnitud, sobre la vegetación natural, la agricultura de secano y el caudal base de los ríos y arroyos. En el siguiente punto serán expuestos los resultados agregados sobre las diferentes cuencas o agrupación de cuencas hidrográficas. Si este hecho va a causar una disminución de las reservas hídricas de los embalses, aún está por estudiar, ya que esta depende en gran medida de cómo se distribuyan las precipitaciones a lo largo del año.

Tabla 9.

		Número anual de días de frío (días)				
		Periodo Climático				
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia
CNCM3	A1b	22,2	17,7	15,6	15,0	-7,2
	A2		18,0	15,9	14,6	-7,6
	B1		18,3	17,8	16,5	-5,7
BCM2	A1b		16,9	15,1	14,2	-8,0
	A2		18,1	15,7	12,7	-9,6
	B1		16,4	16,3	15,6	-6,7
ECHAM5	A1b		19,8	16,5	14,0	-8,3
	A2		20,0	16,2	14,4	-7,9
	B1		19,5	18,0	16,2	-6,0
EGMAM	A1b	17,5	15,4	13,7	-8,5	
	A2	16,4	15,5	13,8	-8,5	
	B1	18,0	15,5	15,2	-7,0	

La **Tabla 9** recoge para toda Andalucía la ción de este parámetro bioclimático en función de los diferentes modelos y escenarios. Como puede observarse su valor disminuye en todas las proyecciones en un rango de 9,2 días (BCM2 A2) a 5,7 días (CNCM3

Otro parámetro relacionado con la productividad primaria de los ecosistemas naturales y cultivos de secano, es el factor DF o disponibilidad neta anual de tiempo para la función fotosintética. Este factor estima la capacidad productiva de un clima, sin limitaciones de suelo, para recrear las condiciones necesarias que requiere un vegetal para producir. Esto ocurre cuando el balance hídrico es positivo y la temperatura es mayor de 7,5 °C.

Tabla 12.

		Balance Hídrico Anual (mm)						
		Periodo Climático						
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%	
CNCM3	A1b	1128	860	518	402	-725	-64,3%	
	A2		839	441	369	-759	-67,3%	
	B1		713	718	572	-556	-49,3%	
BCM2	A1b		855	602	380	-748	-66,3%	
	A2		780	510	357	-770	-68,3%	
	B1		808	524	652	-475	-42,1%	
ECHAM5	A1b		941	665	610	-517	-45,9%	
	A2		681	778	423	-705	-62,5%	
	B1		929	872	628	-499	-44,3%	
EGMAM	A1b		800	841	699	-429	-38,0%	
	A2		813	651	778	-349	-31,0%	
	B1		989	774	698	-429	-38,1%	

Tabla 10.

		DF (horas)						
		Periodo Climático						
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%	
CNCM3	A1b	2008	1913	1574	1353	-656	-32,6%	
	A2		1885	1487	1316	-692	-34,5%	
	B1		1767	1745	1591	-418	-20,8%	
BCM2	A1b		1779	1576	1328	-681	-33,9%	
	A2		1713	1476	1294	-714	-35,5%	
	B1		1813	1457	1614	-395	-19,7%	
ECHAM5	A1b		1829	1645	1658	-350	-17,4%	
	A2		1653	1752	1438	-570	-28,4%	
	B1		1865	1832	1656	-352	-17,5%	
EGMAM	A1b		1751	1820	1696	-312	-15,5%	
	A2		1733	1665	1817	-192	-9,5%	
	B1		1974	1761	1736	-272	-13,5%	

Tabla 11.

		ETo Media Anual (mm)						
		Periodo Climático						
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%	
CNCM3	A1b	976	1040	1099	1135	159	16,3%	
	A2		1032	1091	1168	192	19,6%	
	B1		1045	1062	1089	113	11,6%	
BCM2	A1b		1015	1059	1100	124	12,7%	
	A2		1024	1052	1121	145	14,9%	
	B1		1018	1042	1064	88	9,0%	
ECHAM5	A1b		1031	1089	1139	163	16,7%	
	A2		1027	1071	1147	171	17,5%	
	B1		1028	1046	1092	116	11,9%	
EGMAM	A1b		1031	1065	1111	135	13,8%	
	A2		1032	1074	1127	151	15,5%	
	B1		1021	1051	1065	89	9,1%	

Las horas anuales acumula das donde ocurren simultáneamente estas condiciones es el factor DF. Es de esperar que el cambio climático provoque efectos contrapuestos sobre este factor, en el que la distribución temporal de los cambios a lo largo del año, es de vital importancia. De esta forma, se espera un aumento de la productividad vegetal debido al aumento de la temperatura, mientras que la disminución de las precipitaciones y aumento de la evapotranspiración, dará lugar al efecto opuesto. La **Tabla 10** expresa este desenlace a nivel autonómico, en el que puede verse que el aumento de la temperatura a nivel general no compensa la disminución del balance hídrico anual. De esta forma el modelo BCM2 en el escenario A2 arroja las mayores caídas de productividad, y que ascienden al 35,5%. Es de señalar que es este modelo el que prevé menores aumentos de temperatura y mayor disminu-

ción de la precipitación. En el extremo opuesto, EGMAM en su escenario A2 da lugar a disminuciones más moderadas de la productividad (9,5%), por tratarse de una combinación más equilibrada entre el aumento de las temperaturas (3,2 °C) y disminución de la precipitación (-13,7%).

Finalmente se expone en la **Tabla 13** los resultados esperados para el *índice de aridez*, variable bioclimática que expresa la relación entre la precipitación y evapotranspiración de referencia. En este caso es de esperar un aumento generalizado y considerable en toda Andalucía.

Es en el modelo ECHAM5 en su escenario A2, donde la combinación de aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, arroja peores valores para este índice, dando lugar a un aumento a finales de siglo de casi el 55%. Por el contrario BCM2 B1 da aumento un aumento del 25%. Nuevamente vuelve a quedar a la vista la importancia que conlleva la acción combinada del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en los factores bioclimáticos asociados al régimen hídrico, que como ocurre en el ECHAM5 A2, no siendo ni el más cálido ni el menos lluviosos, da origen al peor de los escenarios de cambio posibles en lo que se a aridez se refiere.

Para acabar, se aclara que en este punto no se ha tratado un factor tan interesante e importante como es la precipitación de nieve. Esto es debido al carácter tan localizado de esta, y cuyo análisis en toda la comunidad puede diluir los resultados. Esta variable será tratada en el siguiente punto donde será analizado de una forma más disgregada.

#### 5.1.4 Evolución de los grupos Climáticos

Para exponer la evolución de los grupos climáticos de Andalucía en el siglo XXI se utilizará una sola línea de argumental, para lo que se ha escogido la combinación CNCM3 A1b, por entender que se trata de una opción intermedia y representativa del rango de posibles. No obstante, la información aportada en los ELC-CA de Andalucía permite levantar y analizar todas las situaciones consideradas.

Tabla 13.

Modelo	Escenario	Índice de Aridez Periodo Climático				Diferencia	%
		1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99		
CNCM3	A1b	186,3	201,5	245,6	258,2	71,8	38,6%
	A2		203,4	254,1	266,7	80,4	43,1%
	B1		219,7	218,6	241,4	55,1	29,6%
BCM2	A1b		210,4	240,9	264,6	78,2	42,0%
	A2		218,1	246,7	283,9	97,6	52,4%
ECHAM5	B1		205,9	245,5	233,0	46,7	25,0%
	A1b		213,0	252,7	261,4	75,1	40,3%
EGMAM	A2		224,8	229,6	288,7	102,3	54,9%
	B1		209,6	225,2	246,8	60,5	32,5%
EGMAM	A1b		219,6	229,6	254,5	68,2	36,6%
	A2	222,8	245,4	246,1	59,8	32,1%	
	B1	222,8	245,4	246,1	59,8	32,1%	

Para analizar lo expuesto, previamente es importante aclarar que las proyecciones de los grupos climáticos pueden tener comportamientos extraños, debido a que la proyección futura parte de una clasificación climática ajustada a la realidad actual, que no tiene por qué mantenerse en el futuro, ya que pueden aparecer nuevos climas definidos por otros parámetros (invasión de climas de norteafricanos, por ejemplo) o la desaparición de otros, debido a que la proyección de clasificación se realiza por una relación de parentesco y no de equivalencia.

Una vez aclarado esto, la Ilustración 105 y Ilustración 107, recogen gráficamente la evolución de los grupos climáticos según la combinación CNCM3 A1b.

Como se puede observar, el gran favorecido por el Cambio Climático es el grupo climático A3, o Clima mediterráneo subcontinental de veranos cálidos. Actualmente el A3 ocupa la parte alta del Valle del Guadalquivir. Según esta prospectiva, A3 invadirá progresivamente la cabecera de la cuenca del Guadalquivir, actualmente ocupada por el grupo climático A4, o Clima mediterráneo subcontinental de inviernos fríos, aumentando del 19,4% de la superficie actual de Andalucía, al 31,8%. En apariencia otro clima favorecido es el A1, o Clima mediterráneo Oceánico, que pasa del 23,5% al 27,5% a costa sobre todo de A2, o Clima mediterráneo Subtropical, que disminuye en un 6 puntos hasta casi desaparecer. Sin embargo, esta invasión se debe fundamentalmente al aumento que va a experimentar el número de días de calor, factor que diferencia a uno del otro. Por otro lado, el grupo climático más perjudicado es el A4, que pasa del 41,5% al 30,8%. Como se ha visto, este clima será reemplazado en buena parte por el A3, sin que su retirada hacia zonas más altas ocupadas por A5, o Clima mediterráneo de montaña, atenué este retroceso en superficie. Como cabría esperar el grupo climático A5 o Clima Mediterráneo de Montaña, disminuye drásticamente, sin posibilidades de desplazamiento, a costa del A4.

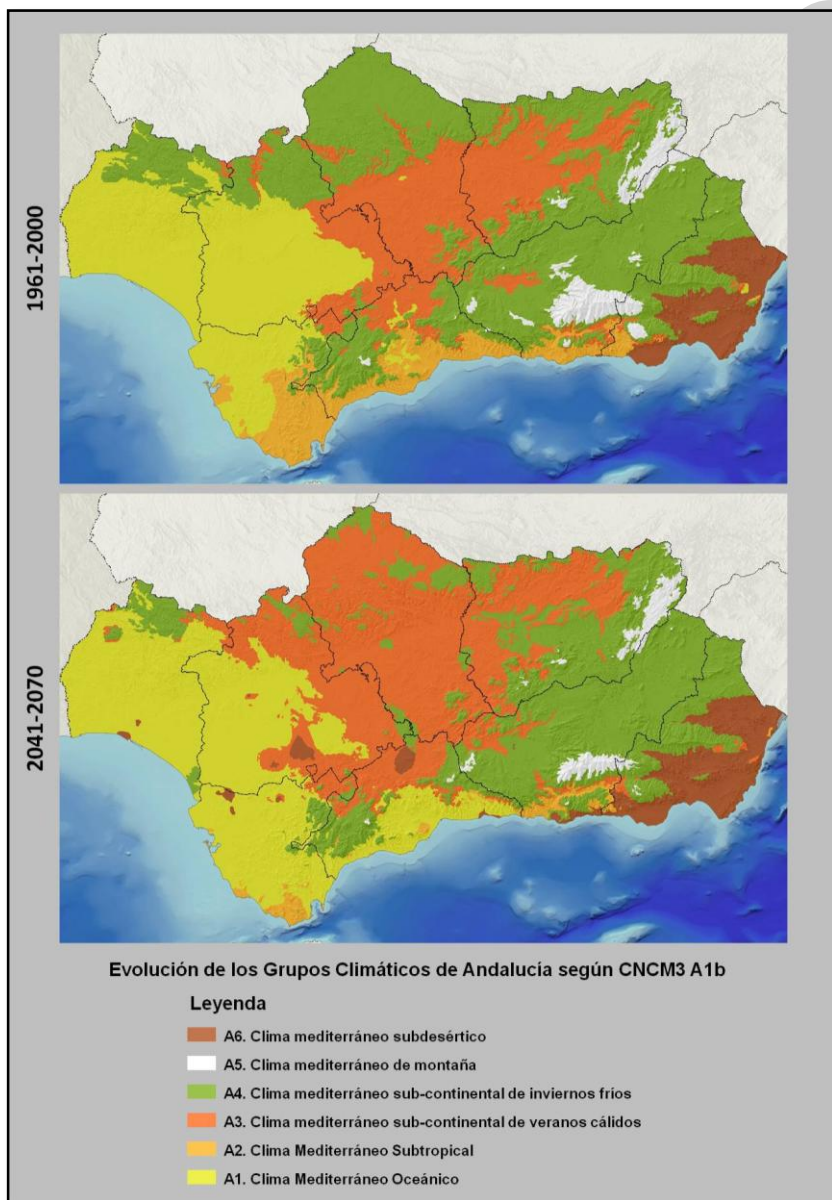


Ilustración 105. Evolución de la Clasificación bioclimática entre los periodo 1961-2000 y 2041-2070.



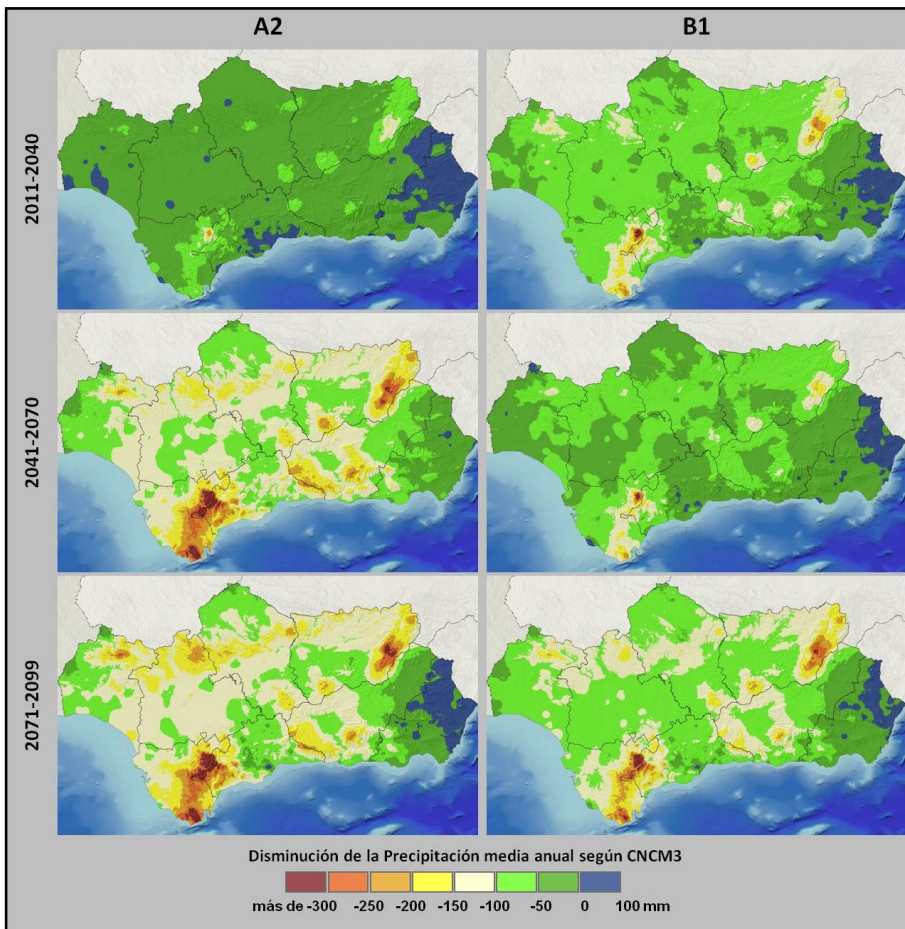


Ilustración 106. Evolución de la Precipitación media anual para los escenarios A2 y B1 del MCG CNCM3.

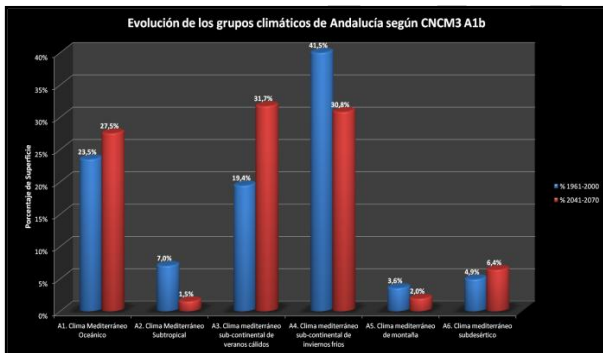


Ilustración 107. Clasificación bioclimática de Andalucía para el periodo 2041-2070, según CNCM3 A1b.

Finalmente el grupo climático A6, o Clima mediterráneo subdesértico crece menos de lo que se cabría esperar, menos de 2 puntos. Este crecimiento tiene lugar fundamentalmente en la periferia de la extensión original, aunque también llama la atención la aparición de enclaves alejados en Andalucía Occidental.

En resumen, la nueva configuración climática en el presente siglo, estará caracterizada por la proliferación de la clase climática mediterránea subcontinental de veranos cálidos, que actualmente ocupa la parte alta del Valle del Guadalquivir. El clima mediterráneo subcontinental de inviernos fríos, actualmente el más extenso, pasará a un segundo plano, llegando a quedar como relicto en zonas como Sierra Morena. La costa mediterránea experimentará un importante incremento de días de calor, propio de la zona de influencia atlántica, mientras que el incremento de la aridez será la tónica general en el resto de grupos.

El clima de montaña quedará reducido a las zonas más altas de Andalucía arrinconado por el clima subcontinental de inviernos fríos, el más perjudicado junto al subtropical. Como se adelantó al principio de este documento, el carácter mediterráneo del clima andaluz no va a cambiar sino que se acentuará tanto en su amplitud (meses secos y cálidos del año) como profundidad (magnitud de la aridez). Esta aridez se irá extendiendo desde las unidades bioclimáticas más secas y cálidas, ocupando el lugar de los enclaves frescos y húmedos, llegándose a producir una simplificación de la diversidad climática de Andalucía.

## 5.2 Glosario de Ornamentales de árboles y arbustos de especies de al-Ándalus

Texto obtenido de *Expiración García y Juan Esteban Hernández Bermejo*<sup>31</sup>.

El objetivo de este glosario es facilitar la identificación más específica y precisa posible de los árboles y arbustos que eran conocidos en la península Ibérica durante el período de la dominación musulmana. Muchos de ellas se cultivaron, algunas indígena y otras introducidas, pero la lista también menciona las especies que se descubrieron a través del comercio y de importación. El catálogo se basa en varias publicaciones coautoría por los presentes autores, junto con *Julia Ma. Carabaza Bravo y Alfonso Jiménez Ramírez*, especialmente *“Árboles y arbustos de al-Ándalus”* (Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004). El estudio se basa en datos proporcionados por los tratados agrícolas andalusíes (un total de ocho), junto con el primer calendario agrícola escrito en *al-Ándalus*, el Calendario de Córdoba. Como complemento de estas obras es quizás el trabajo botánico más rico y más interesante, *‘Umdat al-Tabib’ (Umda)*, que ha permitido identificar las especies sobre las que los demás tratados agronómicos eran ambiguos o mudos. Los calendarios agrícolas y botánicas que sirvieron como base para la preparación de este glosario se enumeran con sus siglas siguientes: *‘Kitab al-Anwa’*, una obra del siglo X escrito por *‘Arib Ibn Sad’*.

Hay que señalar que este catálogo sólo contiene las especies mencionadas por los agrónomos (aquellos que se cultivan o que fueron conocidos por su consumo o por medio de la lectura de otros textos anteriores); muchas más especies fueron posiblemente conocidas, a juzgar por un estudio de las contribuciones de los botánicos y farmacólogos de la época.

Por último, hay que aclarar que las especies seleccionadas como árboles en este trabajo corresponden más concretamente al concepto botánica de *phanerophyte*, lo que significa, aquellas especies cuyas yemas se encuentran por encima de un metro del suelo. Por esta razón, además de los árboles específicos, incluye arbustos arborescentes y palmeras. Una vez más, utilizando el concepto de *phanerophyte*, hemos tomado la libertad de incluir plantas herbáceas, como las cañas y árboles de plátano.

أب نوس (*ā*). Arrayán, mirto. Ver *rayhan*. (Ilustración 108).

أب نوس (*abnūs*). Ébano (*Diospyros ebenum Hiern.*). Esta especie africana nunca fue cultivada en al-Ándalus, pero debe haber sido conocida por el valor de su madera oscura y pesada.

أب هل (*abhal*). Enebros y Sabinas (*Juniperus sp.*). *Abhal* probablemente distingue las sabinas (*J. sabina*, *J. thurifera* y *J. phoenicea*, entre otros, especies del géne-

ro *Juniperus* escuamiformes (forma de escama)), de los enebros (aciculares (forma de aguja)), la escasa la información proporcionada por los agrónomos andalusíes hace que este género sea incierto<sup>32</sup>.



Ilustración 108. Mirto (*Myrtus communis*). Hedwing Schwarzer.

أترج / أترج (*utruij / utruij*). Citron, Cidro (*Citrus medica L.*). La identificación del cidro plantea pocas dudas, ya que es la especie del género *Citrus* más antigua conocida en el Mediterráneo.

أثل (*athl*). Taraje, Tamarisco oriental (*Tamarix aphylla [L.] Karst [= T. articulata Vahl. = T. orientalis Forsk.]*). Esta especie tiene una distribución que va desde el norte de África a Pakistán. Ha sido y sigue siendo ampliamente utilizado como barrera contra el viento y estabilizador de dunas, así como ornamental en plazas y calles de pueblos subsaharianos y lugares cercanos del mar. Las especies podrían haber sido perfectamente cultivada en al-Ándalus en zonas xerófilas y costeras, ya que también soporta temperaturas bajo cero en invierno. (Ilustración 113).



Ilustración 109. Araar (*Tetraclinis articulata*). Equipo técnico Jardín Botánico CAMOAT.

<sup>31</sup> Fuente: <http://www.doaks.org/resources/middle-east-garden-traditions/al-andalus-glossary/glossary>

<sup>32</sup> Probablemente en este grupo estuviera incluido el Araar o Alerce africano (*Tetraclinis articulata*), presente en el norte de África y del que aún quedan vestigios Península Ibérica (Murcia). Ilustración 109.



Ilustración 113. Taraje (*T. articulata*). Javier Hernandez Gallardo.

أرز (**arz**). Cedros (*Cedrus* sp, principalmente *C. atlantica*, *C. libani*). Es posible que el término “arz” se utilizara para designar a una serie de coníferas que parecen coincidir con las características de los cedros y enebros. (Ilustración 111)



Ilustración 111. Cedro (*Cedrus atlántica*). Juan José Guerrero

أركان (**argan**). Argán (*Argania spinosa* [L.] Skeels). El género *Argania* se compone de una especie autóctona única desde el oeste de Marruecos. Se cultivaba en zonas áridas de Al-Andalus, quedando hoy algunos ejemplares en la Península Iberica. (Ilustración 110)

أزدرخت (**azādarkhat**). Árbol del paraíso; acederaque (*Melia azedarach* L.). No fue mencionada hasta el siglo Abu 'l-Khayr a finales del siglo XI y por Ibn al-'Awwam más tarde en el siglo XII. En consecuencia, es muy probable que se introdujo durante la época islámica. (Ilustración 112)

أستنبوذ (**astanbūdh**). Pomelo. Ver *zanbū*.

أم غيلان (**umm ghaylān**). Acacia (*Acacia abyssinica* Hochst. ex Benth., *A. arabica* Willd, *A. nilotica* Delile, *A. gummifera* Delile). Las escasas referencias apuntan a varias especies productoras de goma árabe. Se trata de árboles o arbustos espinosos de origen norteafricano, típicos de ambientes xerófilos.

إجاص (**ijjā**). Ciruelo (*Prunus domestica* L.). Ver 'Uyun al-baqar.



Ilustración 110. Argán (*Argania spinosa*). Juan José Guerrero Álvarez.

إهل يلج (**ihlilaj**). Mirobalanos (*Terminalia* sp. [*Chelbula Retz*], y posiblemente otras especies del mismo género como *T. catappa* L., *T. horrida* Steud, *T. citrina* Roxb ex Flem. y *T. bellerica* Roxb.). La escasa información sobre su morfología, técnicas y métodos de cultivo sugieren que esta planta no se cultiva en al-Andalus, sino era importada por su uso veterinario, insecticida y cosmético.

بان (**ban**). Ben (*Moringa oleifera* Lam.). Según varios autores, podría tratarse de varias especies, como *Acacia farnesiana*, *Moringa aptera*, *M. arabica*, *M. pterygosperma* (= *M. oleifera*), *Salix aegyptiaca* (como sinónimo de *khilaf*, sauce) y *S. tetrasperma*. Sin embargo, nos inclinamos a proponer una identificación con *Moringa oleifera* Lam. Tolera ambientes subtropicales y secoa, por lo que es posible que se cultiva en al-Andalus, o, al menos, de que hubo intentos de hacerlo.



Ilustración 112. Melia (*Melia azedarach*). (Cambiar foto xx)

برباريس (**barbāris**). Agracejo (*Berberis* sp., seguramente *B. vulgaris* L. y *B. hispanica* Boiss. y Reuter). La información proporcionada por los agrónomos es confusa, y esta confusión ha sido una constante a lo largo de su historia popular. Sin embargo, 'Umda disipa todas las dudas, ya que menciona el color amarillo de su corteza y el uso de esta planta como un colorante, que son características singulares del género *Berberis*.



Ilustración 114. Cornicabra (*Pistacia terebinthus*). Equipo técnico Jardín Botánico CAMOAT.

**ب ر ق و ق (barquq).** Albaricoque, Albaricoquero (*Prunus pérsica* (L.) Batsch.). Ver *mishmish*.

**ب ط م (butm).** Terebinto, cornicabra (*Pistacia terebinthus* L.). Los agrónomos cuentan que esta especie silvestre de hoja caduca que alcanza en algunas zonas un tamaño similar a un árbol. (Ilustración 114)

**ب ق س (box).** Boj (*Buxus sempervirens* L.). Se trata de una especie con propiedades medicinales, y que se utiliza ampliamente en al-Ándalus como planta ornamental. (Ilustración 115)

**ب ق م (buqqam, baqqam).** Árbol del Brasil, brasilete (*Caesalpinia sappan* Lam.). Por sus exigencias ecológicas, es probable que este árbol se cultivara en al-Ándalus en lugares de clima oceánico.

**ب ل س ا ن (bālāṣan).** Árbol de la mirra, Bálsamo, (*Commiphora opobalsamun* Engl.). Ver *murr*.

**ب ل و ط (ballut).** Encina (*Quercus ilex* L., *Q. ilex* subsp. *Ballota* [Desf.] Samp.). El *ballut* es un término árabe que alude al árbol y fruto de la encina. A pesar de la escasez de datos morfológicos suministrados por los agrónomos andalusíes sobre esta especie, no hay dudas sobre su identificación, dado los extensos comentarios sobre la importancia de este árbol en contexto forestal y agronómico de la península Ibérica.



Ilustración 115. Boj (*Buxus sempervirens*). Mario Ruiz.

**ب ن ج ن ك س ت (banjankust).** Sauzgatillo. Ver *habb al-faqd*.

**ب ن د ق (bunduq).** Avellano. Ver *jillawz*.

**ت ف ا ح (tuffah).** Manzano (*Malus domestica* [Borhk.] Borhk.). La identificación es bastante clara a pesar de que probablemente no era un árbol frutal muy abundante en el centro y sur de la península. Los autores revelan un profundo conocimiento de su uso.

**ت ف ا ح أ ر م ي ن ي (tuffah armini).** Albaricoque, manzana de Armenia. Ver *mishmish*.

**ت ف ا ح ف ا ر س ي (tuffah farisi).** Melocotón persa, melocotón, melocotonero. Ver *khawkh*.

**ت م ر ه ن د ي (tamar hindi).** Tamarindo (*Tamarindus indica* L.). Dioscórides es el único autor clásico que menciona esta planta, aunque quizás nunca supo de él personalmente. Después de esta brecha histórica, la especie reaparece cuando se menciona al final del siglo XI y principios del siglo XII por autores como *Abu 'l-Khayr* y *al-Tighnari* y más tarde, por *Ibn al-Awwam* e *Ibn Luyun*, quien discutió varias de sus propiedades y métodos de uso.



Ilustración 116. Higuera (*Ficus carica*). Equipo técnico Jardín Botánico CAMOAT.

**ت ت و ت (tut mulberry).** Moral y morera (*Morus nigra* L., *Morus alba* L.). Hay claras referencias al género *Morus*. El moral (*Morus nigra*), originario de Asia occidental, era una especie ampliamente conocida desde la antigua Grecia y Roma. Mientras que la morera (*Morus alba*), es originaria del centro y este de China. Su introducción a al-Ándalus se atribuye a las tropas sirias, que se establecieron en diferentes áreas de la actual Andalucía a mediados del siglo VIII. Su cultivo debió extenderse rápidamente, ya que hay numerosas referencias en diversas fuentes árabes que datan del siglo décimo, a la atención de los gusanos de seda y el comercio de la seda.

تین (*tīn*). Higuera (*Ficus carica L.*). A pesar de que ninguno de los autores describe la apariencia de la planta, no hay duda sobre su identificación. Es descrita en sus dos formas básicas: la higuera y el *cabrahigo* (*higuera loca o salvaje*). La descripción de hasta trece variedades por color, tamaño, maduración de frutos y la adaptación a diferentes climas y terrenos, dan fe de su cultivo extensivo en al-Ándalus. (Ilustración 116).



Ilustración 118. Avellano (*Corylus avellana L.*). Juan José Guerrero.

چ لنانر (*jullanar*). Granado (*Punica granatum L.*). El *jullanar* es un término derivado del persa con varios significados, que en árabe se utiliza para designar tanto a las flores del granado, como a la especie.

چ لوز (*jillawz*). Avellano (*Corylus avellana L.*, y también sus híbridos con *C. columna L.* y *C. maxima Miller*). Su identificación en términos filológicos no deja lugar a dudas, a pesar de las características morfológicas no son claras. Los avellanos mencionados por los autores deben corresponder a los híbridos de varias especies del género *Corylus* presente en el sur de Europa y norte de África. (Ilustración 118).



Ilustración 119. Madroño (*Arbutus unedo L.*). Juan José Guerrero.

چم یز (*jummayz*). Sicómoro (*Ficus sycomorus L.*). Con el fin de obtener una producción significativa, el sicómoro requiere un clima cálido y seco durante todo el año, lo que limitaría su área potencial de cultivo en la península. Por tanto, parece muy improbable que se cultiva en al-Ándalus.



Ilustración 117. Sauzgatillo (*Vitex agnus-castus Kurz.*). Juan José Guerrero.

چ ناء أحمر (*Jana 'ahmar*). Madroño (*Arbutus unedo L.*). El nombre árabe de esta especie se justifica tanto por el color del fruto, como por el color rojizo de su madera, usada como colorante, desde la antigüedad en el norte de África. (Ilustración 119).

چوز (*Jawz*). Nogal (*Juglans regia L.*). La identificación de *jawz* como el nogal europeo ofrece pocas dudas si tenemos en cuenta las observaciones sobre su agromonomía y usos.

حب العروس (*habb al-aarús*). Cubeba (*Piper cubeba L.*). Dado que es una especie tropical, su conocimiento en haber sido conocido solamente en al-Ándalus del comercio.

حب (*habb*). Cerezo. Ver *habb al-Muluk*.

حب الفقد (*habb al-faqd*). Sauzgatillo (*Vitex agnus-castus Kurz.*). El sauzgatillo es una especie silvestre abundante en las riberas de los ríos de al-Andalus, junto con las adelfas y otras especies riparias. En ocasiones se cultiva en jardines, pero quizá sólo sus poblaciones silvestres se utilizaron en el pasado. (Ilustración 117).

حب الملوك (*habb al-muluk*). Cerezo (*Prunus avium L.*). *Al-Tighnari*, al igual que otros autores, utiliza los sinónimos *habb al-muluk* y *qarāṣiyā*, aunque el primero de estos términos era muy común en lenguaje de al-Ándalus, según confirma el texto de *'Umda*. La referencia a sus variedades transmite la sensación de una notable diversidad.

حلب (*hullab*). Tamujo. Ver *'awsaj saghir*.

حناء (*hinnā'*). Alheña o arjeña (más conocida en inglés por *henna*) (*Lawsonia inermis L.*). La descripción exacta de su cultivo nos hace pensar que fue cultivada en al-Andalus y que esta tradición fue abandonada posteriormente. El *aligustre* (*alheña*) (*Ligustrum vulgare L.*) se ha utilizado como un sustituto para el término español *alheña*, pero esta planta está representada en la flora ibérica por una especie.

حور (*hawr*). Álamo blanco (*Populus alba L.*). Podemos identificar esta especie con bastante certeza gracias a *'Umda*, donde se diferencia claramente del álamo negro (*Populus nigra*) y de los olmos (*Ulmus sp.*).



Ilustración 121. Cerezo (*Prunus avium* L.). Juan José Guerrero.

حور رومي (*hawr rumi*). Álamo negro, chopo. Ver *aswad nasham*.

خرنوب (khurnūb). Algarrobo. Ver *kharrūb*.

خروع / خرواع (*khirwa' / khirwā'*). Ricino (*Ricinus communis* L.). No hay ninguna dificultad para identificar esta especie filológicamente, aunque agrónomos no hacen una diagnosis de sus características.



Ilustración 122. Álamo blanco (*Populus alba* L.). Lucía Martos García.

خروب (*kharrūb*). Algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.). La información morfológica proporcionada por los agrónomos aunque es escasa, define claramente el algarrobo.



Ilustración 120. Algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.). Equipo técnico Jardín Botánico CAMOAT.

خلاف (khilāf). Sauce. Ver Safsaf.

خوخ (*khawkh*). Melocotonero (*Prunus persica* [L.] Batsch.). No hay duda acerca de la identificación de este árbol. A partir de la detallada información proporcionada en los textos agrícolas y botánicos andalusíes, está claro que se trataba de una especie ampliamente cultivada.

ذيار شديبر (*khiyar shanbar*). Sen (*Cassia obovata* Colled, *C. acutifolia* Delile, *C. angustifolia* Vahl., *Cassia fistula* L.). A pesar de los pocos datos aportados por los tratados agrícolas, se puede deducir que se trata de uno de los diferentes tipos de *senna*, donde sólo el *sen* (*Cassia obovata*) llegó a ser cultivado en la península Ibérica. Por otra parte, los usos específicos mencionados indican de otra especie *Cassia* (el árbol *cannafistula*), que aunque no fue cultivado en al-Ándalus, si era conocido y utilizado en diferentes campos como la medicina y la farmacología.

دار صيني (*dār sini*). Casia de China (*Cinnamomum aromaticum* Nees en Muro. = *C. cassia* L.). Esta especie se utilizó como un sustituto de la canela de Ceilán. Ninguna de estas plantas se podía cultivar en al-Ándalus, debido a su naturaleza tropical, y sólo fueron adquiridos a través del comercio.

دالية (*dālīyah*). Parra. Ver karm.

دردار (*dardar ash*). Fresno (*Fraxinus angustifolia* Vahl., *F. ornus* L.). Posiblemente el término *dardar* se refiera a *Fraxinus angustifolia*. Sin embargo, *Umda* hace referencia a otras especies más al norte que podrían identificarse como *F. excelsior* y *F. ornus*.

دفلی (*diflā*). Adelfa (*Nerium oleander* L.). No hay duda sobre la identificación de esta especie, ya que los datos morfológicos junto a su carácter venenoso la hacen inconfundible. La mención por diferentes autores proporciona evidencias sobre su uso desde hace mucho tiempo, así como su extenso cultivo como ornamental. Cabe destacar la referencia a las variedades de flores con diferentes colores y quizás duplicidad de pétalos ("*adelfa reales*"), lo que revela su tradicional y prolongado uso de jardín a pesar de su toxicidad. (Ilustración 124).



Ilustración 124. Adelfa (*Nerium oleander*). José Gonzales Granados.

**دلب (dulb)**. Arce, plátano de sombra (*Platanus orientalis* L., *Acer* sp.). Los textos no proporcionan argumentos suficientemente sólidos para establecer una identificación concluyente que distinga entre dos géneros tan diferentes. El término designa *dulb* para el *P. orientalis* pero también se aplica a varias especies del género *Acer*. (Ilustración 125).



Ilustración 125. Arce (*Acer opalus*). Mario Ruíz.

**دهمست (dahmast)**. Laurel. Ver *rand*.

**دوم (dawm)**. Palmito (*Chamaerops humilis* L.). A diferencia de otras especies de palmeras (*muql*), se puede identificar el término *dawm* como el palmito, especie silvestre y autóctona de al-Ándalus y única palmera nativa de Europa. (Ilustración 123).



Ilustración 123. Palmito (*Chamaerops humilis*). Hedwing Schwarzer.

**ذادي / ذادي / ذادي (dhadi / dhādhī / dadhī)**. Árbol de Judas (*Cercis siliquastrum* L.). La identificación de este árbol como *Cercis siliquastrum* está suficientemente clara basada en la información de dos agrónomos, que es corroborado por eso de 'Umda. La fisonomía general del árbol, como se describe y su uso preferente en los jardines no deja margen para la duda.

**ذكار (dhukkār)**. Cabrahigo. Ver *tīn*.

**رتم (ratam)**. Retama (*Retama sphaerocarpa* [L.] Boiss.). La retama está relacionada con la palabra *ratam* del árabe. 'Umda distingue claramente la retama blanca (*R. sphaerocarpa*), muy abundante en al-Ándalus, mientras que en otros textos aparecen los llamados *escobones negros*, como *Cytisus scoparius*, *Genista florida* etc.), y las *hiniestas* o *aulagas* (*Genista scorpius*).

**رقع (raq' / ruqa')**. Árbol de la nuez vómica (*Trichilia emetica* Vahl [= *Elcaja emetica* Forsk.], *T. roka* [Forsk.] [= *Elcaja roka* Forsk.]). La identidad de esta especie es incierta, conocida en al-Ándalus sólo a través del comercio. Comúnmente, se acepta que el medicamento extraído de las semillas de esta planta fue introducida en Europa en el siglo XVI y que se uso en la medicina occidental desde 1640, cuando fue principalmente utilizado para los animales venenosos, y como agente de desnaturalización del alcohol. Su toxicidad es debida a la presencia de alcaloides en el endospermo de sus semillas como la estricnina y brucina.

**رمان (rumman)**. Granado (*Punica granatum* L.). Los datos morfológicos son escasos y no permiten identificar claramente la especie, pero sí apuntan hacia la granada cuando es citado un pequeño árbol de carácter subtropical. El carácter frutal y las técnicas agronómicas son lo que sin lugar a dudas permiten identificar la granada (*Punica granatum*), una especie originaria de Oriente Próximo que se cultiva ampliamente en toda la cuenca del Mediterráneo desde los primeros tiempos. Destacan varios usos similares a su uso actual, que incluyen el carácter ornamental y su capacidad para formar setos.

**رند (rand)**. Laurel (*Laurus nobilis* L.). No hay duda acerca de la correcta identificación de esta especie. Entre sus múltiples usos, el de mayor interés *etnobotánico* citado por los autores andaluces, destaca el uso ornamental.

ريحان (*rayhan*). Arrayan, mirto (*Myrtus communis* L.). El género *Myrtus* se ha utilizado desde la antigüedad por diversas culturas de la cuenca mediterránea como ornamental, medicinal y otros fines. Aunque los autores andaluces no incluyen toda la información descriptiva, ellos hacen hincapié en su uso ornamental, lo que sugiere algunas aplicaciones muy excepcionales en el jardín. (Ilustración 108).



Ilustración 126. Aliso (*Alnus glutinosa*). Equipo técnico Jardín Botánico CAMOAT.

زان (*zan Alder*). Aliso (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertner). Aunque todavía hay dudas sobre la identificación de esta especie, tras el análisis de la información suministrada por 'Umda en comparación con otra serie de argumentos botánicos, pensamos que podría muy bien ser el aliso. (Ilustración 126).



Ilustración 128. Acerolo (*Crataegus azarolus*). Juan José Guerrero.

زعرور (*za'rur*). Acerolo (*Crataegus azarolus* L.). Existe gran confusión acerca de esta especie entre los agrónomos andaluces, sus respectivos traductores y otros autores. La descripción de 'Umda aclara esto, ya que sus características morfológicas (la forma de las hojas que se describen como dividido, la presencia de espinas en las ramas y frutos rojos) corresponden a la acerolo. (Ilustración 128).

زف / زف / زف (*zufayzaf / zifzif*). Azufaifo. Ver 'unnāb. (Ilustración 127).

زنبوع (*zanbūj*). Acebuche u olivo silvestre (*Olea europaea* var. *sylvestris* Brot.). A partir de los comentarios sobre su cultivo de varios agrónomos, es evidente, más allá de su carácter sencillo y aparentemente salvaje, que existe una estrecha relación entre el olivo y el acebuche. Esto no es una cuestión de parentesco sino la unidad de origen.



Ilustración 127. Azufaifo (*Ziziphus lotus*). Hedwing Schwarzer.

زنبوع (*zanbū*). Árbol de pomelo (*Citrus grandis* [L.] Osbeck.). Los orígenes árabes del término español "zambo" (árbol de pomelo) es inconfundible. Se utiliza para designar un tipo de membrillo o de diferentes especies de cítricos, en concreto el de pomelo.



Ilustración 129. Acebuche u olivo silvestre (*Olea europaea* var. *sylvestris*). Hector Garrido.

زيتون (*zaytun*). Olivo (*Olea europea* L.). La aceituna es sin duda el principal cultivo en el paisaje agrícola andaluz del período considerado, y su cultivo produce una acumulación de literatura agronómica que pocas especies pueden igualar. Los agrónomos andaluces no fueron la excepción, agregando su perspectiva al conocimiento etnobotánico común de esta especie en el Mediterráneo. Ellos recopilaban una gran cantidad de conocimientos sobre este tótem árbol frutal, algunos ya conocidos, pero los fragmentos aparecen e indican ideas que actualmente se aceptan como novedades en el mundo oleícola. Estas ideas, como se ha demostrado aquí, tienen su origen en el conocimiento popular y empírico que se remonta muchos siglos. (Ilustración 129).





Ilustración 131. Zumaque (*Rhus coriaria*). Equipo técnico Jardín Botánico CAMOAT.

زيتون بري (*zaytun*). Acebuche u olivo silvestre. Ver *zanbūj*.

ساج (*sāj*). Teca (*Tectona grandis* L.). Es evidente que el género *Tectona* solamente era conocido por los autores andaluces a través de intercambios comerciales o indirectamente por fuentes orientales. Sus comentarios son curiosamente marginales en relación con el interés de esta madera, que se valora muy positivamente hoy para sus usos al aire libre.

سبستان (*sabastān*). Sebastén. Ver *mukhaytah*.

سرو (*sarw*). Ciprés (*Cupressus sempervirens* L.). Identificamos esta especie como el ciprés común (*Cupressus sempervirens*), de origen mediterráneo. La importancia de su cultivo, que se puede deducir por su extendido uso, especialmente ornamental en muros de los jardines y rincones asegura de identificación.

سروال (*sarwal*). Ciprés. Ver *sarw*.

سدرجل (*safarjal*). Membrillo (*Cydonia oblonga* Mill.). Su identificación es clara. Además de las alusiones de los agrónomos, observamos que se consideró un árbol relativamente rústico que no requería el cultivo.



Ilustración 132. Melojo (*Quercus pyrenaica*). Juan José Guerrero.



Ilustración 130. Castaño (*Castanea sativa*). Juan José Guerrero.

سماق (*summaq*). Zumaque (*Rhus coriaria* L.). La identificación de esta especie no es clara si nos basamos en el cultivo y los datos morfológicos. Como en otros casos, 'Umda proporciona información más completa y extensa, lo que facilita su identificación. (Ilustración 131).

سنديان (*sindiyan*). Robles (*Quercus pyrenaica* Willd., *Q. Petraea* (Mattuschzka) Liebl., *Q. robur* L., o *Quercus* sp.). Bajo este término, es posible determinar que, entre todos los árboles con agallas, los agrónomos andaluces están refiriendo a los árboles de hoja caduca que comprenden los bosques, es decir, aquellos que podemos genéricamente se denominan como "robles", o como 'Umda afirma, a todos los árboles con bellotas, como toda la especie *ballut*. (Ilustración 132).

شلاج / سلاج (*shālij / sālij*). Sauce. Ver *safsaf*.

شاه بلوط (*shāh*). Castaño (*Castanea sativa* Miller). Su identificación es muy clara.

شدر (*subir*). Alcornoque (*Quercus suber* L.). La palabra *shubir* (del latín *suber*) es suficientemente elocuente para identificar esta especie, así como varias observaciones morfológicas precisas hechas por 'Umda. Los usos mencionados por *Ibn al-'Awwam* en su discusión sobre el corcho siguen siendo válidos hoy en día.

شجر اللبان (*shayarat-luban*). Árbol del incienso del (*Boswellia carteri* Birdw.). El árabe *luban*, un sinónimo de *kundur* (derivado del griego), se aplica a la resina extraída de varios árboles del género *Boswellia*. 'Umda lista el nombre en lengua romance que se le dio en al-Ándalus, *shansiyu*, lo que significa incienso.

شكوس (*shakūs*). Jaras (*Cistus* sp.). *Shakūs* (con la forma variante, *shaqwas*) era el nombre común utilizado en al-Ándalus para designar varias especies Cistaceae. sin embargo, los términos más comúnmente utilizados para nombrarlos se *istibb* (del Latín *stīpa*) y *qistūs* (y variantes, del griego κισσόος). Ambos se aplicaron de forma genérica a esta extensa familia, aunque con frecuencia se limitan a una especie específica. Por consiguiente, es extremadamente difícil determinar con exactitud las especies mencionadas por los autores andaluces. (Ilustración 133).



Ilustración 133. Jara pringosa (*Cistus ladanifer*). Juan José Guerrero.

شمشار (*shamshār*). Boj. Ver *baqs*.

شوحط (*shawḥaṭ*). Tejo. Ver *ṭakhsh*. (Ilustración 136).

صاف (*safsaf*). Sauces (*Salix alba* L.). *Safsaf* es utilizado por los agrónomos andalusíes y botánicos para diversas especies de sauces y otros árboles con una apariencia similar. La correspondencia principal se establece con el sauce blanco, la especie más abundante del género en la península Ibérica, aunque podría haber otras especies de *Salix*, como el *S. atrocinera* Brot., *S. purpurea* L., o *S. viminalis* L..



Ilustración 136. Tejo (*Taxus baccata*). José Gonzales Granados.



Ilustración 134. Pino piñonero (*Pinus pinea*). Manuel Castro Rodríguez.

صافيراء (*ṣufayrā*). Arces (*Acer pseudoplatanus* L., *A. granatense* Boiss., *A. campestre* L. y *A. opalus* Miller). El término *ṣufayrā* que significa "amarillo", se aplica a varias especies, como se explica claramente en 'Umda. Entre los escasos detalles morfológicos que los agrónomos citan, parece que hay una referencia hacia la infertilidad de algunas especies en contra a la naturaleza frutal de los demás. Esta característica podría estar relacionada con naturaleza dioica de algunas especies del género *Acer*. El *ṣufayrā* de los agrónomos básicamente corresponden a las especies de este género. (Ilustración 135).

صندل (*sandal*). Sándalo (*Santalum album* L.). Aparte de esas referencias a las especies maderables (*Santalum album*), la mayoría de las alusiones al sándalo en los textos agrícolas son para los miembros herbáceas del género *Mentha*. Los agrónomos no proporcionan ninguna información sobre el cultivo de las especies de arbustos, que fueron utilizados como incienso y en la industria del perfume, lo que confirma su ausencia en al-Ándalus. En cualquier caso, deben haber conocido la especie a través de su uso en lugar de su cultivo.

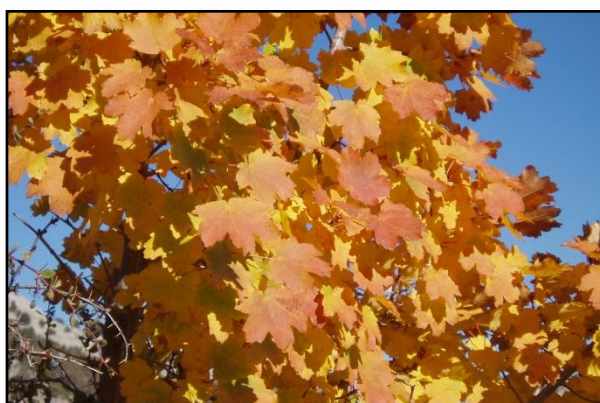


Ilustración 135. Arce granatense (*Acer granatensis*). Juan José Guerrero.

صنوبر (*ṣanawbar*). Pinos (*Pinus* sp., preferentemente *Pinus pinea* L.). Las especies del género *Pinus* son identificadas y mencionadas bajo este término, aunque los autores lo utilizan principalmente para referirse al *Pinus pinea*, la especie con el mayor interés agrícola debido a sus piñones comestibles. Además de sus diversos objetivos de nutrición, su interés ornamental se menciona con claridad. (Ilustración 134).



Ilustración 138. Lentisco (*Pistacia lentiscus*). Equipo técnico Jardín Botánico CAMOAT.

صنوبر أحمر (*ṣanawbar ahmar*). Pino silvestre, pino común, pino albar, pino bermejo (*Pinus sylvestris* L.). Aunque no fue el pino más abundante de al-Ándalus, esta especie habría sido (como lo es actualmente) muy conocida y valorada por su excelente madera cubierta con corteza rojiza. No obstante, sigue habiendo dudas sobre su identificación, ya que *P. pinaster* se conoce actualmente en varias zonas de España como el pino rojizo.

ضرو (*darw*). Lentisco (*P. lentiscus* L.). No hemos encontrado información suficientemente clara en la descripción o en los usos descritos por los agrónomos para identificar correctamente la especie. Más bien, parece ser un término genérico. 'Umda ha aclarado la información y nos ayuda a confirmar esta opinión, ya que el término *darw* se aplica a varias especies *Anacardiaceae* relacionadas con el maní.



Ilustración 139. Quejigo (*Quercus faginea*).

طخش (*takhsh*). Tejo (*Taxus baccata* L.). No parece haber ninguna duda en cuanto a la identificación de esta especie arbórea. Según algunos autores, se trata de un grupo de especies con un origen muy antiguo, que se fragmenta en microespecies muy similares, y que comúnmente aparecen dispersos por todo el hemisferio norte. (Ilustración 136).

طرفاء (*tarfa*). Taraje o taray (*Tamarix africana* Poiret, *T. canariensis* Willd.). Los tarajes tanto andaluces como ibéricos a los que se refiere este término son: *Tamarix africana* Poiret, *T. canariensis* Willd., *T. gallica* L., *T. parviflora* DC, y *T. boveana* Bunge. Los dos primeros fueron probablemente los más comunes de al-Ándalus. (Ilustración 113).

ظيان (*zayyan*). Jazmín silvestre (*Jasminum fruticans* L.), Clematis o clemátide (*Clematis vitalba* y *C. flammula*). Esta identificación es clara, ya que la única especie salvaje en al-Ándalus es *J. fruticans*, donde el color de la flor coincide con la flor amarilla indicado por Ibn al-'Awwam. En relación con la flor blanca citada por este ingeniero agrónomo, nos inclina a pensar en un clematis con una flor blanca (*Clematis vitalba* y *C. flammula* son dos candidatos ideales para esta descripción).

عرعر / ارار (*'ar'ar / 'ar'ar*). Enebros y sabinas (*Juniperus* sp., *Tetraclinis articulata*). El término 'ar'ar todavía se utiliza para designar al ciprés de Berbería (*Tetraclinis articulata*), una especie de distribución de África del Norte (norte de Argelia y Marruecos). Es semejante al ciprés y a las sabinas, por lo que posiblemente habría sido utilizado para designar a una de estas especies. Sin embargo, los límites de la utilización y aplicación del término entre sabinas y enebros no están claros. (Ilustración 109).

عريش (*arish*). Parra. Ver *karm*. (Ilustración 143).

عفس (*'afṣ*). Quejigo (*Quercus faginea* grex [incl]. *Q. faginea* Lam. y *P. canariensis* Will.). A pesar de escasa información de los textos agrícolas, los datos morfológicos claros en 'Umda permiten cierta identificación. (Ilustración 139).

عليق (*ullayq*). Zarzamora (*Rubus ulmifolius* Schott.). Sólo es posible identificar por los agrónomos las plantas comúnmente llamadas zarzas asociadas con *R. ulmifolius*, ya que el género *Rubus* es un grupo extremadamente complejo que es difícil de clasificar, incluso contando con técnicas modernas. Es interesante ver sobre su uso para la creación cercas y lindes. (Ilustración 137).



Ilustración 137. Zarzamora (*Rubus ulmifolius*). Juan José Guerrero.

عناب (*'Inab*). Viña o vid. Ver *karm*.

عناناب (*Unnāb*). Azufaifo, (*Ziziphus jujuba* Miller). El nombre académico para este árbol era '*unnāb*', mientras *zifzif* se utilizó en el habla común. Es una especie introducida, que se cultiva por su fruto. (Ilustración 127).

عوسج (*awsaj*). Espino negro o cambrón (*Lycium intricatum* Boiss.). Desde Dioscórides esta especie ha sido denominada como *rhamnus*. La mención de frutas utilizadas como alimento y el hecho de que son mencionados por los agrónomos como especies cultivadas nos animan a pensar que se trataba de la *Lycium intricatum*. Sin embargo, '*Umda*' también incluye varias especies *Lycium* bajo este término, lo cual es comprensible, dado que la fisonomía general de todas estas especies es muy similar.



Ilustración 142. Tamujo (*Fluggea tinctoria*).

عوسج أحمر (*'awsaj ahmar*). Aladierno (*Rhamnus alaternus* L.). Los escasos datos proporcionados por los textos sobre esta especie no permiten identificarlo correctamente, pero el hecho de que "aguijón rojo" es la traducción literal de '*awsaj ahmar*', pueden ser evidencia de que esto podría ser el espino, que también se conoce hoy en día como la espina roja.

عوسج صديير (*'awsaj*). Tamujo (*Fluggea tinctoria* [L.] G. L. Webster). A pesar de los pocos datos ofrecidos en los textos de los agrónomos, podemos hacer una identificación gracias a '*Umda*', que menciona ciertas características precisas, por ejemplo, cómo se utiliza la especie en la fabricación de escobas o en la defensa de las fronteras. (Ilustración 142).

عيون البقر / عين / عيون / عن دبقر / ع دبقر (*'uyun al-baqar / 'ayn / 'uyun / 'anbaqar / 'abqar*). Ciruelo (*Prunus domestica* L.). '*Umda*' menciona múltiples variedades de esta especie, y el trabajo agrícola realizado por *al-Tighnari* muestran claramente que *ijjāṣ* fue el término que se utiliza en los círculos académicos para designar al ciruelo, mientras que '*uyun al-baqar*' y sus variantes fue el término más común utilizado por las personas. Ver también *ijjāṣ*.

غار (*ghar*). Laurel. Ver *rand*.

غديراء (*ghubayrā*). Serbal (*Sorbus domestica* L.). Todos los textos de los agrónomos están de acuerdo en el uso de las frutas y los métodos de consumo y su información fenológica.



Ilustración 141. Serbal (*Sorbus domestica*). Juan José Guerrero.

غرب (*gharab*). Sauce. Ver *safsaf*.

ف ر سك (*firsik*). Melocotonero. Ver *khawkh*.

ف ر صاد (*firṣad*). Moral. Ver *tut*.

ف س تق (*fustuq*). Pistacho o alfónsigo (*Pistacia vera* L.). Originario de Asia Central, pero generalizado en todo el Próximo Oriente desde los primeros tiempos, esta especie era, sin duda, muy conocida y ampliamente cultivada en al-Ándalus, aunque su cultivo se perdió después de la edad hispano-árabe y no se introdujo de nuevo hasta hace muy poco.

ف ل فل (*fulful*). Pimienta negra (*Piper nigrum* L.). Las referencias proporcionadas por los agrónomos y '*Umda*' proporcionan pruebas claras de que esta planta sólo era conocida por los viajeros que venían de la India. En al-Ándalus como en otros países de la época medieval, fue una de las especias más caras y altamente valoradas en las cocinas de lujo.



Ilustración 140. Caña (*Arundo donax*). Javier Hernández Gallardo.

قافور (*qāfūr*). Alcanfor (*Cinnamomum camphora* [L.] Sich.). Con toda probabilidad, esta especie se debe haber conocido a partir de su consumo y el comercio, pero no se cultiva en al-Ándalus, debido a su naturaleza tropical. En '*Umda*' queda claro que este producto fue importado de China o la India.

قاراسيا / قاراسيا (*qarāṣiyā / qarāsiyā*). Cerezo. Ver *habb al-muluk*. (Ilustración 121).



Ilustración 143. Vid (*Vitis vinifera*). Guadalupe Jiménez Ruíz.

**قرفة (qirfah).** El árbol de la canela de Ceilán, (*Cinnamomum verum* JS Presl. = *C. zeylanicum* Blume). Solo es posible decir por los comentarios de los agrónomos andalusíes que esta especie aromática no se cultiva en al-Ándalus, y la falta de descripciones morfológicas parece indicar que no se trataba de una especie de renombre, aparte de su producto comercial.

**قسطل (qastal).** Castaño. Ver *ballut sha*. (Ilustración 130).

**قصب (qasab).** Caña (*Arundo donax* L.). De acuerdo con la información proporcionada por los agrónomos, parece que esta especie era efectivamente un cultivo importante en este período, y no es sorprendente dado el gran y variado uso que se hacía para todo tipo de estructuras agrarias (pantallas, cubiertas, vallas y empalizadas, cortavientos, estacas, vides, etc.). (Ilustración 140).



Ilustración 145. Carrizo (*Phragmites australis*). Héctor Garrido.

**قصب البنيان (qasab al-bunyan).** Espadaña o enea (*Typha* sp. [*T. angustifolia* L., *T. domingensis* (Pers.) Steudel]). Los datos de los agrónomos andalusíes sobre esta caña aparentemente silvestre son escasos y confusos, a excepción de breves alusiones a su ecología y la abundancia. Es razonable suponer, por su frecuencia en las riberas y el surgimiento de las aguas freáticas, que se refieren a *Typha* sp.

**قصب الدلو (qasab al-ḥulw).** Caña de azúcar. Ver *qasab al-sukkar*.

**قصب السكر (qasab al-sukkar).** Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). La identificación es clara. La información que proporcionan los agrónomos revela un nivel aceptable de experiencia con esta especie, cuyo cultivo fue introducido y consolidado durante el período de la dominación musulmana.

**قصب القند (qasab al-qy).** Caña de azúcar. Ver *qasab al-sukkar*.

**قصب فارسي (qasab fārisī).** Carrizo (*Phragmites australis* [Cav.] Trin. Ex Steudel). Dioscórides proporciona la información que más tarde es preservada por al-Ṭighnārī, y que habla sobre las virtudes medicinales de esta especie, algunas de las cuales se conservan aun por tradición, como el tratamiento de la alopecia. (Ilustración 145).

**قارنفل (qaranful).** Clavo (*Syzygium aromaticum* [L.] Merr. Y Parry = *Eugenia caryophyllata* Thunb. = *E. aromatica* Baill. No Berg.). Esta especie debe haber sido conocida por el uso y comercio, pero dudamos que se cultivara en al-Ándalus. El clavo de olor, originario de las Islas Molucas ahora se cultiva en muchas regiones tropicales de todo el mundo, no habría resistido el frío de los inviernos de la península Ibérica. En cualquier caso, el uso de esta especie fue introducida por los árabes, ya que ni Isidoro de Sevilla ni Columela la mencionan, aunque si fue citada por Plinio.



Ilustración 144. Labiernago negro (*Phillyrea latifolia*).

**قوط بنون (qūḥnūn).** Acebuche u olivo silvestre. Ver *zanbūj*. (Ilustración 129).

**قايقاب (qayqab).** Almez; Almez. Ver *mays*. (Ilustración 149).

**كادي (kadhi).** Pandano (*Pandanus odoratissimus* L. f.). A pesar de la escasa información proporcionada por los textos agrícolas, la información de 'Umda permite la identificación de esta especie, "abundante en Arabia y la India", pero ausente de la agricultura andaluza. Aún así, es muy probable que las esencias destiladas del pandano, muy conocidos y ampliamente utilizados en el Este, llegaran al-Ándalus.

**كبابة (kubbābah).** Cubeba. Ver *habb al-aarūs*.



Ilustración 146. Piruetano (*Pyrus bourgaeana*). Equipo técnico Jardín Botánico CAMOAT.

**كتم (katam).** Labiérnago (*Phillyrea angustifolia* L. y *Ph. latifolia* L.). La información proporcionada por los dos textos agrícolas, son corroboradas y extendidas en 'Umda, permite la identificación de este término árabe, con frecuencia traducido incorrectamente como "aligustre" (*Ligustrum*). (Ilustración 144).

**كرم (karm).** Vid (*Vitis vinifera* L.). La identificación es clara, aunque algunos autores proponen diferentes especies y subespecies para el grupo de vides cultivadas y asilvestradas. La opinión más extendida es el término implica exclusivamente la especie *Vitis vinifera* con una amplia gama de formas, variedades y modos de cultivo. (Ilustración 143).

**كدمثري / إحص / إحصاء (kummathrá / ijjāṣ / injāṣ).** Peral (*Pyrus communis* L. y otras especies silvestres de *Pyrus*). Los textos agronómicos de al-Ándalus muestran claramente que *kummathrá* y *ijjāṣ* (con su variante, *injāṣ*) se refieren al árbol del peral, pero con una diferencia: los trabajos más teóricos se basan principalmente en las fuentes orientales que sólo utiliza el término *kummathrá* para el peral, mientras que los trabajos con una mayor importancia práctica, utilizan *ijjāṣ* para designar esta especie. Además, el término *ijjāṣ* refiere al árbol de ciruelo en los círculos científicos, mientras que la gente común lo utilizó para el peral. (Ilustración 146).



Ilustración 148. Almendro (*Prunus dulcis*). Javier Hernandez Gallardo.

**لبان (luban).** Árbol del incienso. Ver *shayarat-luban*.

**لوز (lawz).** (*Prunus dulcis* [Miller] D. A. Webb). No hay duda acerca de la identificación de este nombre de la planta árabe. (Ilustración 148).

**ليم (lim).** Lima (*Citrus aurantifolia* [Christm.] Swingle, *C. limetta* Risso, *C. limettioides* Tanaka). En AKh es muy probable que sea una alteración del texto para *laymūn* el término Lim, ya que el árbol de lima no es mencionado por este nombre en cualquier tratado hasta el siglo XIV (IL). Ver *laymūn*.



Ilustración 147. Cerezo de Santa Lucía (*Prunus mahaleb*).

**ليمون / لامون / ليمون (laymūn / lamun / lamun).** Limonero (*Citrus limon* [L.] Burm., *C. aurantifolia* [Christm.] Swingle, *C. limetta* Risso, *C. limettioides* Tanaka). El término *laymūn* (y sus variantes) se ha traducido en una manera tradicional y por afinidad fonética como "limón" en ambos tratados agrícolas y otros tipos de fuentes. Sin embargo, hay una serie de características que nos inclinan a pensar de limas en vez de limones. 'Umda, bajo el título del nombre anterior, menciona el limón, así como varios tipos de limas, y las características que analiza, en la mayoría de los casos, son aplicables tanto a los limones y limas. Por lo tanto, podemos decir que *laymūn* parece corresponder a un grupo heterogéneo de limas que podrían incluir algún estado de los procesos de hibridación que dieron lugar a la limón.

**مذنان (maṭnān).** Torvisco (*Daphne gnidium* L.). Es obvio que esta especie, que se encuentra con frecuencia en los matorrales mediterráneos, no debe haber sido cultivado, pero fue conocido por varios de sus propiedades (que incluyen agentes de purga), ya que es mencionado por los autores antiguos como Dioscórides e Isidoro de Sevilla.

**مذلب (mahlab).** Cerezo de Santa Lucía (*Prunus mahaleb* L.). No hay ninguna razón para dudar de esta identificación, ya que su nombre y su uso se han consolidado como portainjerto como se menciona en los textos agrícolas. Sin embargo, los agrónomos sólo proporcionan características morfológicas escasas. Varias características mencionadas en 'Umda coinciden con los de esta especie, pero no de una manera suficientemente específica para distinguirla de otras especies silvestres y espinosos *Prunus*, como el *P. insititia* o *P. spinosa*, aunque estos también pueden ser ocasionalmente mencionados como " ciruelos silvestres. (Ilustración 147).



**مذيطة / مذيطى / مخطى (mukhayṭah / mukhayṭá / mukhatá).** Sebesten (*Cordia myxa* L.). Es prácticamente seguro que este es término usado para la *Cordia myxa*, una especie que apareció entre los principales elementos de la dieta de los pueblos árabes y etíopes, incluso durante la época romana. Sin lugar a dudas, esta podría ser la primera mención de esta especie en el Mediterráneo occidental. Aunque se cultiva en al-Ándalus como cultivo principal, que desapareció de la agricultura ibérica después de la época islámica. (Ilustración 150).

**مر (murr).** Mirra (*Commiphora myrrha* Engl.). Los productos obtenidos de esta especie de la familia de las *Burseraceae* se utilizaron en al-Ándalus, pero con casi Ilustración 150. Sebesten (*Cordia myxa*).

total certeza ninguna de estas especies fueron cultivadas. Autores antes de Plinio o Isidoro de Sevilla también los mencionan.

**مشدتهى (mushtahá).** Mostajo (*Sorbus aria* [L.] Crantz.). Aunque su identificación es relativamente clara, la discusión de esta especie por varios autores, como al-Tighnari, también podría referirse a la azarole (*Crataegus azarolus*).

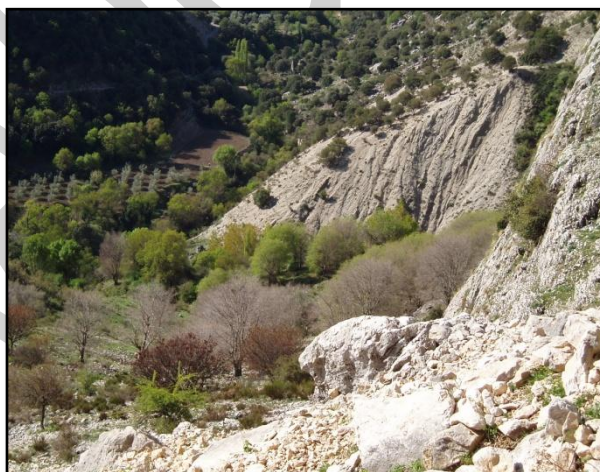
**مشمش / مشماش (mishmish / mezcolanza).** Albaricoque (*Prunus armeniaca* L.). El término *mishmish* (y su variante) es el término árabe para albaricoque utilizado

en al-Ándalus y el Magreb en lengua literaria culta, mientras que el término *barquq* fue utilizado con mayor frecuencia en el habla cotidiana.

**مصع / مصاع (musa').** Níspero (*Mespilus germanica* L.). En contraste con la muy escasa información facilitada por los tratados agrícolas sobre esta especie, 'Umda ofrece una descripción bastante clara. Sin embargo, todavía hay cierta confusión entre el acerolo y níspero entre los agrónomos, que no mencionan el níspero, con la excepción de *Abu 'l-Jayr* e *Ibn Luyun*.

**مضغ (madagh).** Espino albar o majuelo (*Crataegus monogyna* Jacq.). *Ibn al-'Awwam* es el único agrónomo andaluz que lo menciona; se proporciona una descripción morfológica precisa aunque es muy breve. Es lógico que se dedica poca atención a esta especie, ya que fue probablemente nunca cultivada y sólo se utiliza en su forma silvestre. (Ilustración 128).

**مقل (muql).** Palmera egipcia (*Hyphaene thebaica* [L.] Mart.). Creemos que la información de los agrónomos sobre esta especie se basó tanto en la lectura del tratado "*Nabataean Agriculture*" o, a lo sumo, de sus viajes por el Mediterráneo oriental, por lo que posible-



mente nunca se cultivara en al-Ándalus. Ver *dawm*.

**مقل (muql).** Bedelio africano (*Commiphora africana* [A. Rich.] Engl.). Ver *murr*.

**موز (mawz).** Platanera (*Musa* sp. [*M. acuminata* Colla, *M. balbisiana* Colla, *M. textiles* Née]). Los agrónomos árabes y otras fuentes históricas y geográficas, mencionan su cultivo en el siglo X asociado con la caña de azúcar en la costa de Granada. Se cultivaron diferentes variedades de al menos una o dos especies (*Musa acuminata*, *M. balbisiana*), y no sabemos si *M. textiles*, y *abacá* estuvieron presentes también, ya que no hubo mención de a los plátanos se utilizan como fibras en la fabricación de hojas de papel.

Ilustración 149. Almez (*Celtis australis*). Juan José Guerrero.

**ميس (mays).** Almez o almezo (*Celtis australis* L.). Hay problemas para identificar correctamente el árbol llamado en árabe *mays*, raíz del término español "almez." Sin embargo, las características morfológicas y ecológicas que se encuentran en 'Umda en referencia a *qayqab* / *mays* proporcionan la solución. Los agrónomos

destacan las excelentes virtudes de este árbol, que fue plantado extensivamente en las fronteras, vallas, y cerca de las paredes y los conductos de agua, y que fue muy apreciado por su sombra, belleza, fruta, y, sobre todo, por su madera flexible y elástica. (Ilustración 149).

**مه يعة (may'ah).** Árbol estoraque, (*Styrax officinale* L.). Aunque esta especie crece en las regiones tropicales y por tanto, probablemente no fue cultivada en al-Ándalus, podría haber sido conocida y utilizada.

**نارنج (naranj).** Naranja amarga (*Citrus aurantium* L.). La mayoría de las características morfológicas registradas en los textos agrícolas podría ser válidas tanto



para las especies propuestas, así como los árboles de Ilustración 151. Arto o árbol del paraíso (*Ziziphus lotus*). cítricos en general.

**نابق (nabq).** Árbol de loto, arto o árbol del paraíso (*Ziziphus lotus* [L.] Lam.). Las referencias a esta especie por parte de los agrónomos andalusíes no son del todo claras, pero con la ayuda de 'Umda, bajo el título 'Unnāb, hay una gran posibilidad de que se refiera al arto. Por otra parte, la evidencia de que esta especie se utilizara como cobertura viva, presente hoy (Ilustración 151) en el entorno de Madinat al-Zahra', nos permite pensar que el *Ziziphus lotus* debe haber sido conocido por nuestros autores. Otro sinónimo de *nabq* aparece en la misma obra, *sidr*, lo que significa que es el árbol cuyo fruto se llama *nabq*, una opinión que es ampliamente compartida por otros autores. Los agrónomos hacen pocas referencias en el *sidr*, y no incluyen características de diagnóstico determinantes. A pesar de la sinonimia entre *nabq* y *sidr* como equivalentes de *Ziziphus lotus*, el segundo término también se registra en 'Umda como nombre genérico aplicado a diversos grupos de árboles muy grandes y espinosos, tanto silvestres como cultivados. Del mismo modo, este tratado botánico indica que *sidr* es el árbol mencionado en el Corán, que proporciona sombra en el Paraíso y, de hecho, es una especie venerada en las tradiciones islámicas (de ahí su traducción como el árbol del paraíso). Otras identificaciones potenciales para la palabra *sidr* es el *Paliurus bifida-christi* Mill. (una especie bien conocida desde Dioscórides), y el *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd (*Rhamnus bifida-christi* L.). Ambas especies tienen una



distribución más oriental, especialmente el segundo, y no aparecen como plantas silvestres en al-Ándalus. (Ilustración 127).

**نخل (nakhil).** Palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.). Se trata de una especie con la identificación inequívoca. La palmera datilera bien podría ser el árbol universal de la cultura andaluza agronómica, o al menos de la cultura árabe de la época hispano-árabe del este del norte de África. La palmera datilera ofrece no sólo la nutrición de sus frutos, que se consumen en formas variadas, sino también fibras y materiales utilizados para la artesanía, la construcción, la sombra y la decoración



Ilustración 153. Palmera datilera (*Phoenix dactylifera*).



en el jardín, aunque esto no fue mencionado de forma Ilustración 152. Escaramujo (*Rosa canina*). Juan José Guerrero. especial. (Ilustración 153).

**نخيل (nakhil).** Palmera datilera. Ver *nakhil*.

**نسرین (nisrin).** Almizcle rosa (*Rosa* sp.). Ver *ward jabali*.

**نشم (nasham).** Olmo (*Ulmus* sp., principalmente *Ulmus minor* Miller [= *auct campestris* U.. No L.]). *Nasham* se utiliza como un término común para varias especies de árboles similares a la de olmo. De hecho, parece que ha aplicado a varias especies, que incluyen diversos árboles de ribera de hoja caduca, como los álamos blancos y negros, sauces, fresnos, olmos y. Sin embargo, como también se deriva específicamente de análisis filológico, llegamos a la conclusión de su identi-





Ilustración 154. Álamo negro (*Populus nigra*). Javier Hernandez Gallardo.

ficación con los olmos, preferentemente con *Ulmus minor* Miller.

نشم أب يض (*nasham abyad*). Almez. Ver *mays*.

نشم أسود (*nasham aswad*). Álamo negro, chopo (*Populus nigra* L.). Por medio de la información de 'Umda, podemos distinguir claramente los términos árabes que se refieren a los olmos y álamos blancos y negros. En este caso, identificamos *aswad nasham* y *rumi hawr* con *Populus nigra*. En los textos de los agrónomos, nos encontramos con algunos comentarios poco comunes sobre las características diagnósticas precisas para esta especie, como su naturaleza dioica: "que no da fruto, ya que es un hombre." (Ilustración 155).

نشم ق بري (*nasham Qabri*). Abedul (*Betula* sp. probablemente *Betula fontqueri* Roth.). Hay muchas dificultades para la identificación de esta especie, dados los pocos datos que *Abu 'l-Khayr* ofrece en su tratado agrícola. Sin embargo, hemos logrado la identificación por medio de los datos morfológicos y ecológicos que este autor incluye en su trabajo botánico, 'Umda. (Ilustración 156).



Ilustración 156. Abedul (*Betula pendula*). Juan José Guerrero.

ورد (*ward*). Rosas (*Rosa* sp.). Aunque la asociación del término coloquial con la rosa cultivada es inconfundible, hay claras alusiones en los textos agrícolas andaluces a las rosas silvestres que corresponden a diversas especies (*R. gallica*, *R. pouzinii*, *R. canina*, *R.*

*sempervirens*, *R. micrantha*, *R. moschata*), y que podrían ser incluidos de forma conjunta o por separado, como *ward jabali*, *ward al-kalb* y *ward barri*. Por lo tanto, es complicado para que coincida con precisión las diferentes especies de rosas que los autores mencionan con los diferentes tipos adscritos al término *ward*, una tarea complicada aún más por la inclusión de especies de origen asiático e híbridos con el ya complejo grupo de especies nativas. En resumen, en los diferentes significados de la sala, tenemos el grupo de rosas de un ambiente mediterráneo y sospechamos que rosales del Lejano Oriente fueron introducidos, pero también destacamos las claras referencias a la utilización de técnicas de mejora para obtener nuevas variedades y las formas, que solían acervo genético de todo el grupo. (Ilustración 152).

ورد بري (*warri ward*). Rosa canina, rosal silvestre o escaramujo (*Rosa* sp.). Ver *ward jabali*.

ورد الكلب (*ward al-kalb*). Rosa canina o rosal silvestre (*Rosa* sp.). Ver *ward jabali*.



Ilustración 155. Jazmín silvestre (*Jasminum fruticans*). Equipo técnico Jardín Botánico CAMOAT

ورد ج بلي (*ward jabali*). Rosa canina o rosal silvestre (*Rosa* sp., principalmente *Rosa canina* L.). La rosa silvestre ha recibido diferentes nombres árabes.

ياسمين / ياسمين (*yasamin / yasmin*). Jazmín (*Jasminum* sp. [*Jasminum officinale* L., incl. *J. grandiflorum* L.]). El término *yasamin* tiene un origen persa. Con independencia de su asociación fonética, la información morfológica confirma que es el género *Jasminum*, pero los métodos de cosecha, cultivo y técnicas en los textos agrícolas no nos permite determinar qué especies se conocían en aquella época, ya que son válidos para todo el género. En resumen, podemos decir que estamos ante un término ambiguo que designa diferentes especies, incluyendo al menos dos plantas de jazmín (*J. fruticans*, *J. officinale*), y probablemente un tercero, el *J. grandiflorum*, así como otras especies de trepadoras semejantes. La polisemia de jazmín no es inusual, ya que, en español moderno, se utiliza en combinación con diferentes adjetivos para nombrar a un gran número de plantas trepadoras que no necesariamente tiene una relación con el género botánico *Jasminum*. (Ilustración 154).

### 5.3 Criterios de localización de emplazamientos e instalación de sensores meteorológicos

Junio 2002. Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN GET5 Registros Meteorológicos cuya Secretaría desempeña AENOR-PUERTOS DEL ESTADO.

#### OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece el procedimiento de actuación para la obtención de datos meteorológicos procedentes de redes de estaciones automáticas que garantice la máxima calidad en la información que recibe el usuario y representatividad de los datos del estado y comportamiento de la atmósfera.

#### NORMAS PARA CONSULTA

**UNE 500510** Redes de estaciones meteorológicas automáticas. Aspectos generales y nomenclatura.

**UNE 500530** Redes de estaciones meteorológicas automáticas. Caracterización de la instrumentación. Criterios de mantenimiento de las estaciones meteorológicas automáticas y calibración de sensores.

#### DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma, son de aplicación los términos y definiciones que aparecen en la Norma UNE-500510.

#### LOCALIZACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS E INSTALACIÓN DE SENSORES

Con objeto de que las medidas realizadas en diferentes estaciones de una red sean representativas y puedan ser comparables, las características del emplazamiento de la estación y la colocación de los diferentes instrumentos y sensores meteorológicos debe hacerse de acuerdo con los siguientes criterios:

##### Emplazamiento de una estación

La estación meteorológica automática debe situarse en lugares con libre circulación del aire y visibilidad en todas las direcciones.

El terreno debe estar suficientemente alejado de obstáculos, edificaciones y árboles para evitar que su influencia pueda modificar las observaciones meteorológicas.

Es recomendable que el terreno sobre la que se asienta sea horizontal, con césped o cubierta vegetal propia de la zona y de corta altura (menor que 10 cm).

El recinto para la instalación de los instrumentos y módulos de control y transmisión de datos debería tener una superficie no inferior a los 10 x 10 metros y estar vallado, si fuese necesario, para evitar la manipulación incontrolada de las instalaciones y sus sensores. El material empleado en el vallado debe ser de alambre o cualquier otro material que no impida la libre circulación del aire.

Debe evitarse la instalación de estaciones en lugares donde las condiciones meteorológicas estén fuertemente influenciadas por factores locales (tales como hondonadas, vertientes de gran inclinación, proximidad

de estanques o lagos de pequeña extensión, etc.) de forma que las observaciones no sean representativas del área circundante, salvo en aquellos casos en los que, precisamente, se pretenda medir la influencia de estos factores sobre las variables meteorológicas.

Se debe determinar con precisión ( $\pm 5$  m) las coordenadas geográficas de la estación meteorológica y su altitud.

Se debe disponer de un croquis orientado con acotaciones de distancia de la disposición de los sensores que constituyen la estación meteorológica.

Se recomienda fotografiar la estación y sus alrededores con una periodicidad mínima anual con objeto de poder valorar en cualquier momento las modificaciones que haya podido sufrir su entorno.

#### Instrumentación mínima de la estación

La instrumentación de una estación meteorológica automática puede variar en función del uso y de las necesidades particulares de cada aplicación. En cualquier caso, debe permitir la medida de las siguientes variables:

##### Temperatura del aire

##### Humedad relativa

##### Dirección y velocidad del viento

##### Precipitación

Es recomendable que la estación incluya también sensores para el registro de la presión atmosférica y la radiación solar.

#### Instalación de sensores

Como regla general, para todos los instrumentos y sensores que forman parte de la estación meteorológica automática, se debe determinar con una precisión no inferior a  $\pm 5$  cm la altura a la que han sido instalados.

Aunque la situación de los diferentes sensores que constituyen la estación meteorológica puede depender del uso y de las necesidades particulares de cada aplicación, con carácter general, se describen a continuación los criterios y normas que deben regir la instalación de cada uno de los sensores de una estación meteorológica automática.

#### Temperatura y humedad

Los sensores de temperatura y humedad deben situarse a una altura entre 1,25 y 2,00 m respecto a la superficie del suelo.

Deben protegerse de la acción directa del sol mediante una garita o abrigo meteorológico. Las dimensiones, estructura y material de la garita deben escogerse de modo que la temperatura del aire en su interior se corresponda con la temperatura del aire exterior.

Los termómetros deben estar alejados de fuentes artificiales de calor para que no afecten a la medida de la temperatura del aire.

## **Viento**

Los sensores para la medición del viento deben estar instalados, siempre que sea posible, a 10 m de altura.

Para que el viento medido sea representativo, el anemómetro debe estar alejado de los obstáculos más próximos al menos una distancia igual a 5 veces la altura de éstos.

Los sensores deben instalarse en lo alto de un mástil. Si se montan en un brazo de un mástil o torre de instrumentos, la longitud del brazo debe ser al menos diez veces el grosor del mástil que lo sustenta, asegurando tanto la horizontalidad del brazo como la verticalidad del mástil.

## **Precipitación**

El pluviómetro debe instalarse en terreno horizontal y a una distancia de cualquier obstáculo de al menos dos veces la altura del mismo.

El pluviómetro debe situarse de forma que la boca quede por encima del nivel máximo esperado de la capa de nieve (en aquellos lugares donde se produzca) y a una altura a la que no alcance el agua que pueda salpicar desde el suelo. En condiciones normales la boca del pluviómetro se debe situar a una altura no superior a 150 cm, asegurando su horizontalidad.

## **Presión**

La instalación del barómetro debe hacerse de manera que:

Esté protegido de la acción directa de los rayos solares, de la lluvia y de las variaciones bruscas de temperatura.

Quede alejado de equipos o sistemas que produzcan vibraciones que puedan alterar la determinación de la presión atmosférica.

No esté expuesto a corrientes de aire o rachas de viento que puedan modificar la lectura de la presión hidrostática.

Radiación solar. El sensor más frecuentemente utilizado en las estaciones meteorológicas automáticas para la medida de la radiación solar es el piranómetro. Se recomienda que su instalación se realice siguiendo los siguientes criterios:

Debe instalarse a una altura tal que por encima del plano que contiene la cúpula protectora del sensor no exista ningún obstáculo que pueda modificar la radiación procedente del disco solar y de la bóveda celeste.

Debe situarse en un lugar fácilmente accesible para la realización de las operaciones de limpieza de la cúpula protectora.

Debe estar alejado de cualquier fuente artificial de radiación que pueda modificar la medida del instrumento.

## **CARACTERIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN Y MUESTREO DE LOS DATOS**

En este apartado se establece, para cada variable meteorológica, los requisitos mínimos que se deben contemplar a la hora de decidir las características de adquisición de registros representativos y muestreo de los datos.

Las características funcionales de los sensores se recogen en la Norma UNE 500530.

De manera general, la secuencia de adquisición de los datos ha de asegurar la adecuada representación de los cambios significativos de la variable meteorológica medida. La hora se expresará siempre en Tiempo Universal Coordinado (UTC), excepto para las medidas de radiación que se debe emplear el Tiempo Solar Verdadero.

### **Procesos de adquisición y muestreo**

A continuación se detallan, para cada variable, los periodos de muestreo y el método de promediado que debe aplicarse.

#### **Temperatura**

La mayor parte de los sensores utilizados en estaciones automáticas para medir la temperatura tienen una constante de tiempo muy pequeña en comparación con los termómetros convencionales de mercurio o alcohol. Es por tanto recomendable utilizar un período de muestreo del orden del segundo para obtener valores minutales (valor promedio en un minuto) representativos, que se deben considerar valores instantáneos de la temperatura.

El promediado de las muestras se debe efectuar una vez linealizada la señal de salida del sensor.

Como mínimo debería almacenarse en la base de datos correspondiente los promedios obtenidos cada 10 min.

#### **Humedad**

Se debe utilizar un periodo de muestreo del orden del segundo para obtener valores minutales representativos, que se debe considerar valores instantáneos de la humedad relativa del aire.

El promediado de las muestras se debe efectuar una vez linealizada la señal de salida del sensor.

Como mínimo debería almacenarse en la base de datos correspondiente los promedios obtenidos cada 10 min.

#### **Viento**

##### **Velocidad del viento**

Se debe utilizar un periodo de muestreo del orden del segundo para obtener valores promedios en 1 min representativos, que se debe considerar valores instantáneos de la velocidad del viento.

El promediado de las muestras se debe efectuar una vez linealizada la señal de salida del sensor y considerando el promedio vectorial del viento.

El valor de la ráfaga o racha máxima se debe obtener eligiendo el valor máximo del promedio vectorial de la velocidad del viento en 3 s registrado en cada periodo de 1 minuto.

Como mínimo debería almacenarse en la base de datos correspondiente los promedios obtenidos cada 10 min y la racha máxima en ese periodo.

#### **Dirección del viento**

Se debe utilizar un periodo de muestreo del orden del segundo para obtener valores promedios en 1 min representativos, que se debe considerar valores instantáneos de la dirección del viento.

El promediado de las muestras se debe efectuar una vez linealizada la señal de salida del sensor y considerando el promedio vectorial del viento.

La dirección de la ráfaga o racha máxima se debe obtener mediante promedio vectorial de las muestras utilizadas para el cálculo de la racha máxima de la velocidad del viento.

Como mínimo debería almacenarse en la base de datos correspondiente los promedios 10 minutales y la dirección de la racha máxima en ese periodo.

**Precipitación.** Las condiciones que se establecen a continuación se refieren al pluviómetro de tipo balancín que es, por su sencillez mecánica y técnica, el más utilizado en las estaciones meteorológicas automáticas.

Debido al carácter digital de la señal de este instrumento, el muestreo debe asegurar la determinación del número de vuelcos producidos durante 1 min. Alternativamente, puede leerse el instante en el que se produce el vuelco del balancín.

Como mínimo debería almacenarse en la base de datos correspondiente el número de vuelcos producidos en intervalos de 10 min o la cantidad de precipitación equivalente.

#### **Presión**

El periodo de muestreo debe ser, como máximo, del orden de 10 s para obtener valores minutales (valor promedio en un minuto) representativos, que se debe considerar valores instantáneos de la presión atmosférica.

El promediado de las muestras se debe efectuar una vez linealizada la señal de salida del sensor.

Como mínimo debería almacenarse en la base de datos correspondiente los promedios obtenidos cada 10 min.

#### **Radiación solar**

El periodo de muestreo no debe ser superior a 1 min para obtener valores 10 minutales (valor promedio en 10 minutos) representativos.

El promediado de las muestras se debe efectuar una vez linealizada la señal de salida del sensor.

Los promedios obtenidos cada 10 min deberían almacenarse en la base de datos correspondiente.

## BIBLIOGRAFÍA

---

Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO, No. 8. Sixth edition (1996).

Manual del Sistema Mundial de Observación. Vol I. OMM – N° 544. Edición 1981.

Manual del Sistema Mundial de Observación. OMM – N° 544. Volumen II. Aspectos Regionales. (Edición revisada de 1995) (Incluye suplemento N° 1).

Thomas P. De Felice. An Introduction to Meteorological Instrumentation and Measurement. University of Wisconsin. Milwaukee. Prentice Hall. New Jersey (1998).

Handbook of Applied Meteorology. Ed. David D. Houghton. John Wiley & Sons. (1985).

Guide to the acquisition and management of meteorological precipitation data. British Standards Institution. London (1996).

Meteorology. Sonic anemometers/thermometers. Acceptance test methods for mean wind measurements. International Organization for Standardization (2000).

---

<sup>i</sup> Salisbury, Frank B. y Ross, Cleon W (1992) Plant Physiology, cuarta edición editada por Wadsworth.

<sup>ii</sup> Monteith, J.L. (1975) Vegetation and Atmosphere, Academic Press, London.

<sup>iii</sup> Kučerová, A., Pokorný J., Radoux, M., Němcová, M., Cadelli, D. and Dušek, J. (2001) 'Evapotranspiration of small-scale constructed wetlands planted with ligneous species', in Vymazal, J. (Ed.): Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands, Backhuys, Leiden.

<sup>iv</sup> Jones, H.G. (1992) Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology, Cambridge University Press, London.

<sup>v</sup> Peters-Lidard, C.D., Blackburn, E., Liang, X. and Wood, E.F. (1998) 'The effect of soil thermal conductivity parameterisation on surface energy fluxes and temperatures', Journal of the Atmospheric Science, Vol. 55, pp.1209–1224.

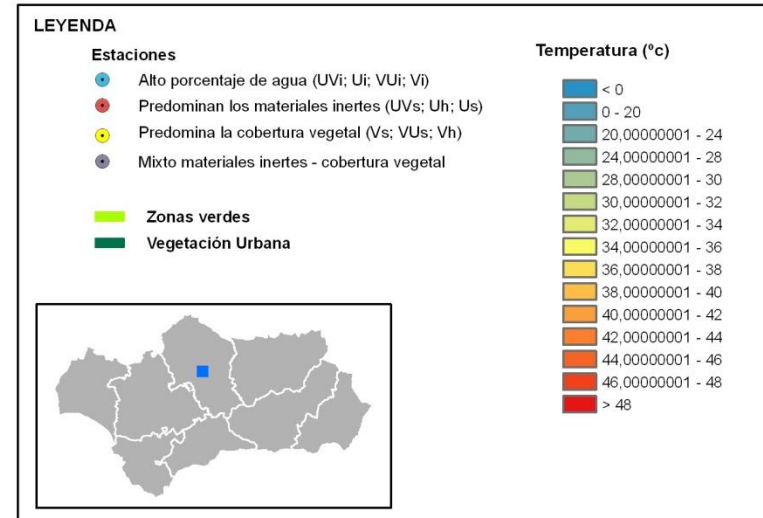
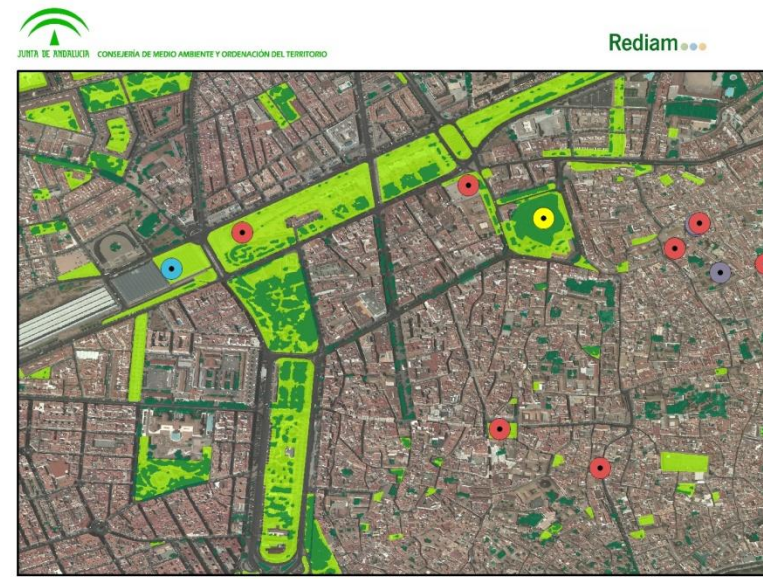
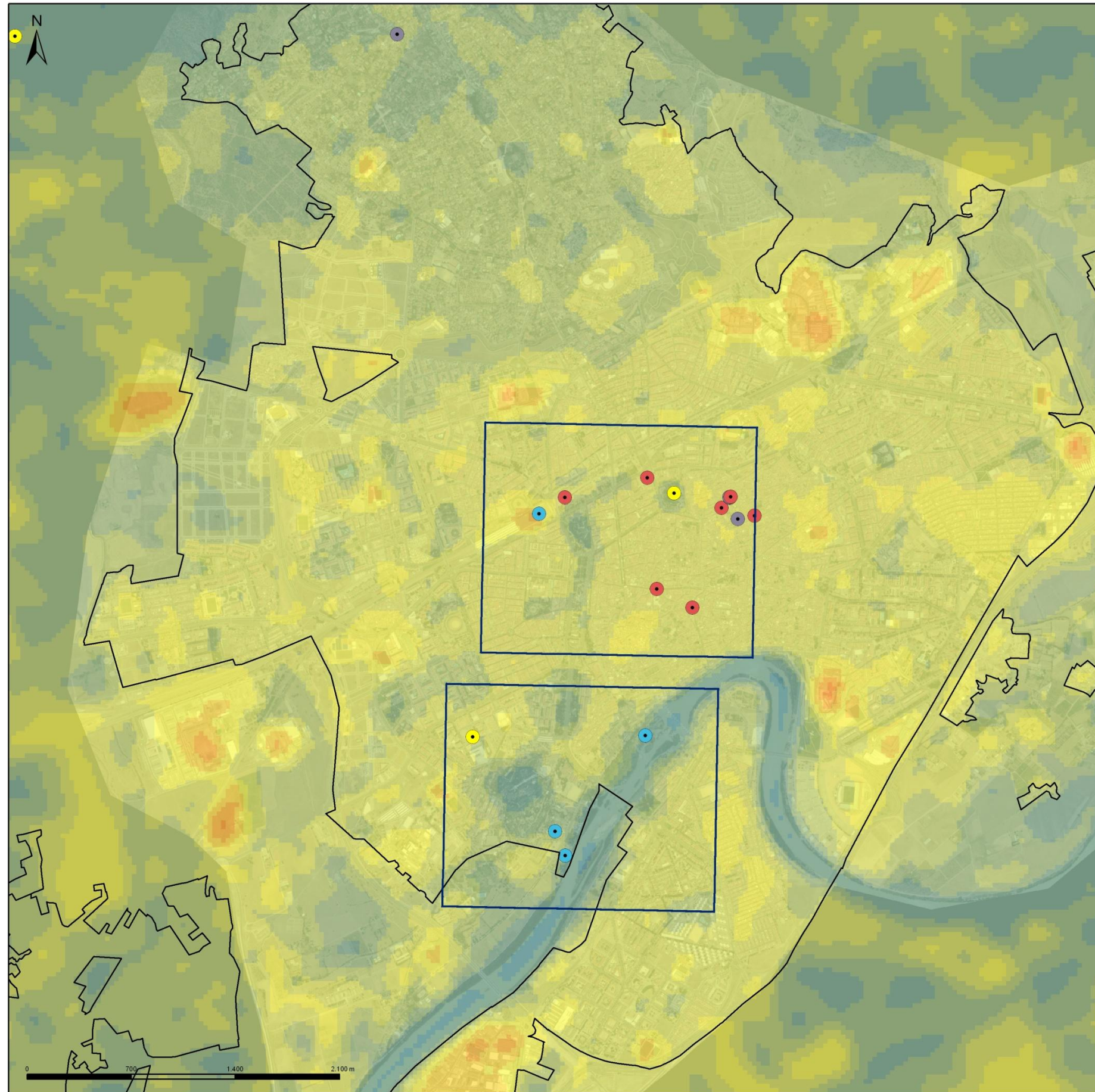
<sup>vi</sup> Lambers, H., Chapin, F.S. and Pons, T.L. (1998) Plant Physiological Ecology, Springer, New York.

<sup>vii</sup> Marzo-Artigas, X. (1), Pita, M.F. (2), Alvarez-Francoso, J.I. (3) (2016). L'impact du changement climatique sur les besoins de climatisation en Andalousie À des Échelles de détail

## 5.4 CARTOGRAFÍA

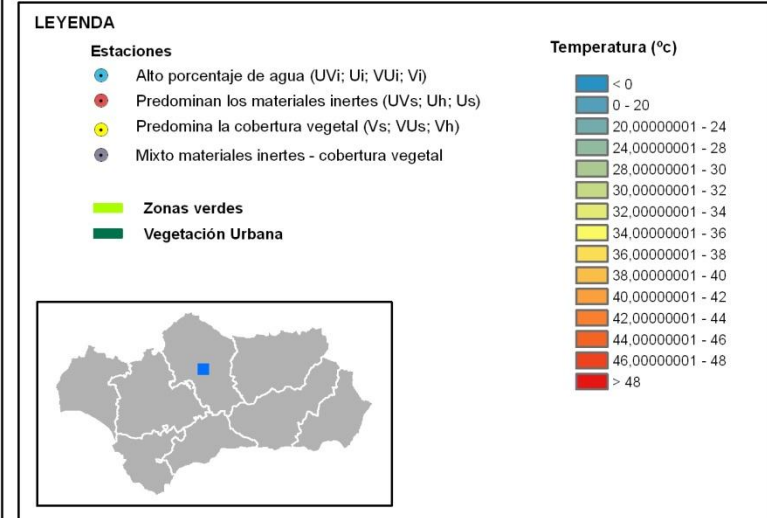
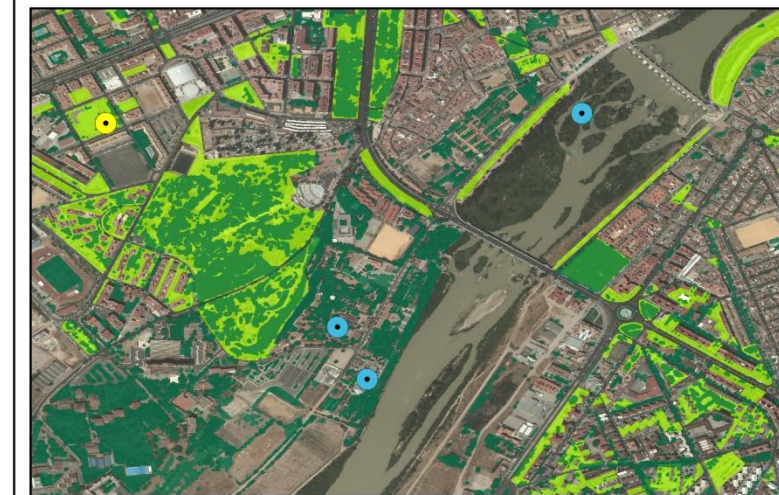
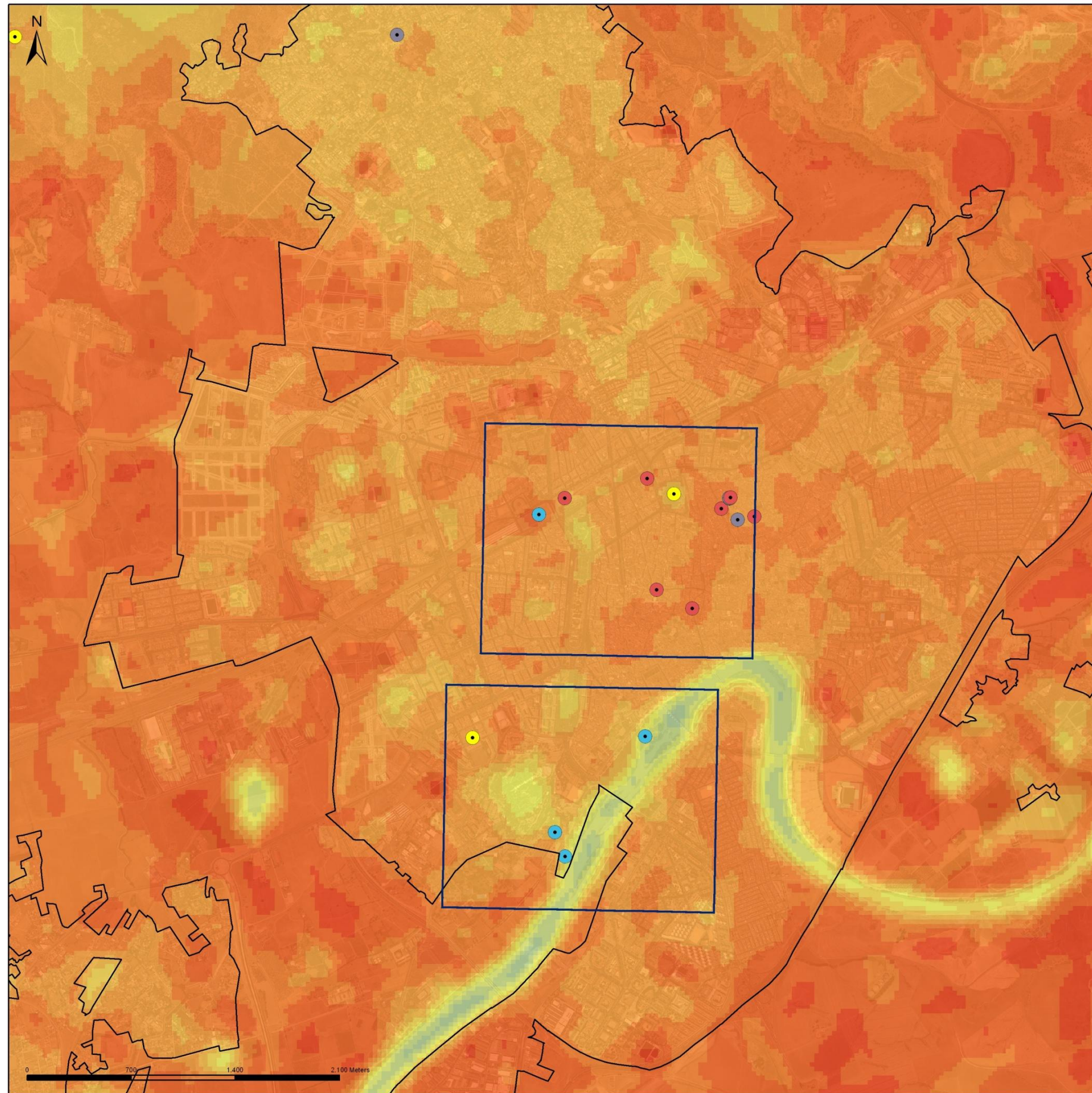
BORRADOR





**RED DE ESTACIONES MICROCLIMÁTICAS**  
**Temperatura del suelo en el mes de mayo**  
**Ciudad de Córdoba**  
 Fecha: enero 2016  
 Sistema de referencia ETRS89. Proyección UTM. Huso 30.





**RED DE ESTACIONES MICROCLIMÁTICAS**  
**Temperatura del suelo en el mes de julio**  
**Ciudad de Córdoba**

Fecha: enero 2016

Sistema de referencia ETRS89. Proyección UTM. Huso 30.

# adaptaclima II



**Unión Europea**

Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional

