

BENVERD: metodología y resultados del análisis multibeneficios del arbolado urbano como estrategia de adaptación al cambio climático



David Alfonso Solar – daalso@iie.upv.es

VI Jornada de Investigación Universitaria sobre Cambio Climático: *“Ciudades sostenibles frente al cambio climático”*
7/10/2025



Cátedra
*Ingeniería Ambiental frente
a los Cambios Climáticos
y Meteorológicos*

Participantes: David Alfonso-Solar*, Elisa Peñalvo-López, Natalia Brines-Gimeno, Elías Hurtado-Pérez, Francisco Galiana, Maria Valles-Planells, Eloína Coll-Aliaga, Javier Orozco-Messana, Elena De La Poza



INTRODUCCIÓN

OLAS DE CALOR

“episodio de tres días consecutivos (al menos), en que como mínimo el 10% de las estaciones consideradas registran TEMPERATURAS MÁXIMAS DIARIAS por encima del percentil del 95% de las máximas diarias de los meses de julio y agosto del periodo 1971-2000.” (Fuente: AEMET)

PERIODO 2015-2025: UNA MEDIA DE 21 DÍAS CON OLAS DE CALOR (**24% de los días de verano**). Cada vez más frecuentes, más largas y con mayores temperaturas (¡41 días en 2022!).

En el periodo **1975-2014: 6 días con ola de calor por año** en promedio.

ESTRÉS O CONFORT TÉRMICO:

Se necesitan más variables para ser evaluado (radiación, viento, temperatura, humedad,..) y el modelado del entorno y el comportamiento del cuerpo humano ante dichas condiciones.

SE DEFINEN ÍNDICES TÉRMICOS COMO: **Índice Universal de Clima Térmico (UTCI)** y la Temperatura Fisiológica Equivalente (**PET**)



INTRODUCCIÓN

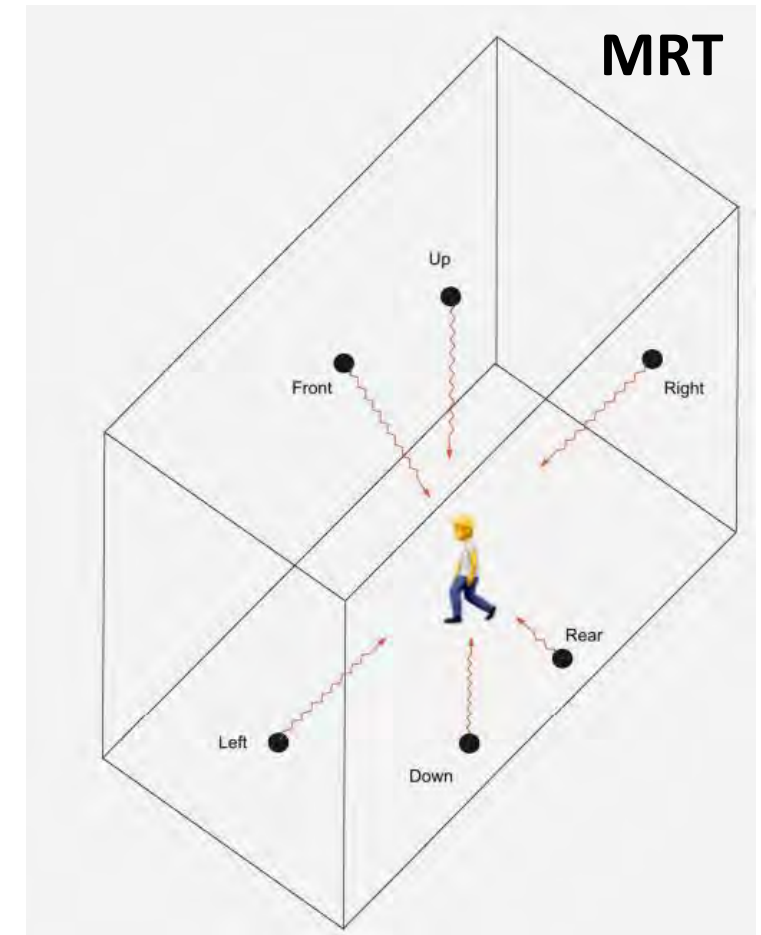
Índice Universal de Clima Térmico (UTCI) y la Temperatura Fisiológica Equivalente (PET)

Los índices de confort térmico describen cómo el cuerpo humano experimenta las condiciones atmosféricas, específicamente la temperatura del aire, la humedad, el viento y la radiación.

Estos índices necesitan una nueva variable llamada **TEMPERATURA MEDIA RADIANTE (MRT)** que tienen cuenta la radiación solar y la radiación proveniente de superficies calientes que nos rodean (cemento, tierra, asfalto,...) ➔ requiere softwares específicos, caracterización de las superficies y **3D** de la zona de estudio (albedo, absorptividad, emisividad,...)



UTCI y PET son “temperaturas del aire equivalentes”. Bajo unas condiciones de referencia, representarían la temperatura que debería tener el aire para tener la misma sensación térmica que en la situación real (con +/- viento, radiación, HR...)



Índice Universal de Clima Térmico (UTCI) y la Temperatura Fisiológica Equivalente (PET)

NIVELES DE ESTRÉS TÉRMICO

ESTRÉS TÉRMICO

ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO

UTCI (°C)	Thermal Stress category
$\geq +46$	Extreme heat stress
+38 – +46	Very strong heat stress
+32 – +38	Strong heat stress
+26 – +32	Moderate heat stress
+9 – +26	No thermal stress
0 – +9	Slight cold stress
-13 – 0	Moderate cold stress
-27 – -13	Strong cold stress
-40 – -27	Very strong cold stress
< -40	Extreme cold stress

PET (°C)	Thermal Perception	Grade of physical stress
> 41	Very hot	Extreme heat stress
35 – 41	Hot	Strong heat stress
29 – 35	Warm	Moderate heat stress
23 – 29	Slightly warm	Slight heat stress
18 – 23	Comfortable	No thermal stress
13 – 18	Slightly cool	Slight cold stress
8 – 13	Cool	Moderate cold stress
4 – 8	Cold	Strong cold stress
≤ 4	Very cold	Extreme cold stress

Central Europe

Fuente: Błażejczyk et al. (2013).

Fuente: Matzarakis and Mayer (1996).

PROYECTO BENVERD (Proyecto UPV 2025-2026)



El objetivo del proyecto (acrónimo BENVERD) es definir una **metodología para evaluar cuantitativamente los beneficios asociados a las zonas verdes urbanas**.

En el ámbito urbano, la infraestructura verde (parques, jardines, arbolado de acera,...) presenta muchos beneficios, en su mayoría englobados en el concepto de **servicios ecosistémicos**:

- SE01: Fijación de CO2 en vegetación y suelo
- **SE02: Mitigación del efecto isla de calor y estrés térmico urbano**
- SE03: Fijación de polvo, partículas y emisiones contaminantes.
- SE04: Beneficios para la salud humana a nivel físico y mental.
- SE05: Incrementan el valor paisajístico, inmobiliario o de actividad de las viviendas, sector hostelero y empresas circundantes.
- SE06: Ayudan a la gestión del agua de lluvia y escorrentía urbana.
- SE07: Ayudan a la biodiversidad aportando refugio y alimento a plantas y animales
- SE08: Ahorro de energía en edificios (arbolado, cubiertas/muros vegetales)

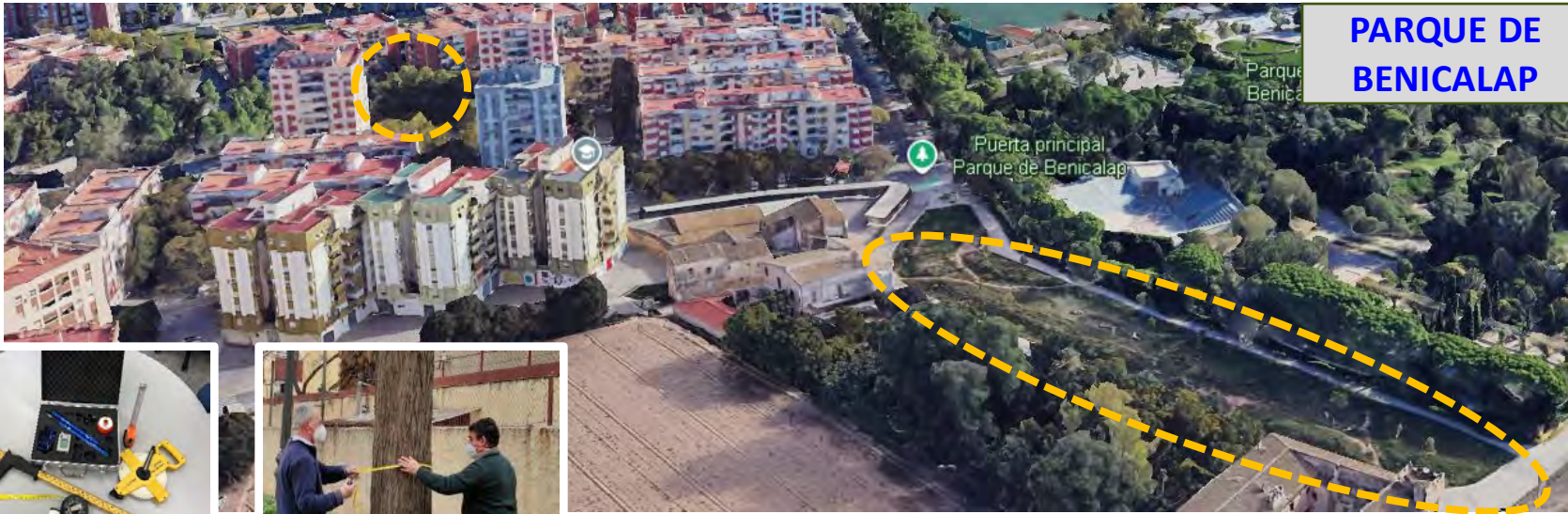
**BASADO EN
PROYECTOS PREVIOS
Y APLICACIÓN A UPV**



- **LOCALIZACIÓN: BENICALAP (VALENCIA) [PILOTOS Y REFERENCIA]**
- SE MIDIÓ DURANTE VARIOS AÑOS **VARIABLES AMBIENTALES** (T, HR, VIENTO, RADIACIÓN,...) EN DISTINTAS UBICACIONES CON/SIN SOMBRA, PLAZAS, ...
- SE REALIZARON **MEDICIONES DEL ARBOLADO PRESENTE** Y SE UTILIZARON LAS MEDICIONES PARA EVALUAR MÚLTIPLES BENEFICIOS: **REDUCCIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO Y FIJACIÓN DE CO2**
- **MODELADO** DEL EL ESTRÉS TÉRMICO HORARIO (SOFTWARE **RAYMAN PRO**) CON/SIN ARBOLADO EN **PUNTOS DE INTERÉS [POI]**.

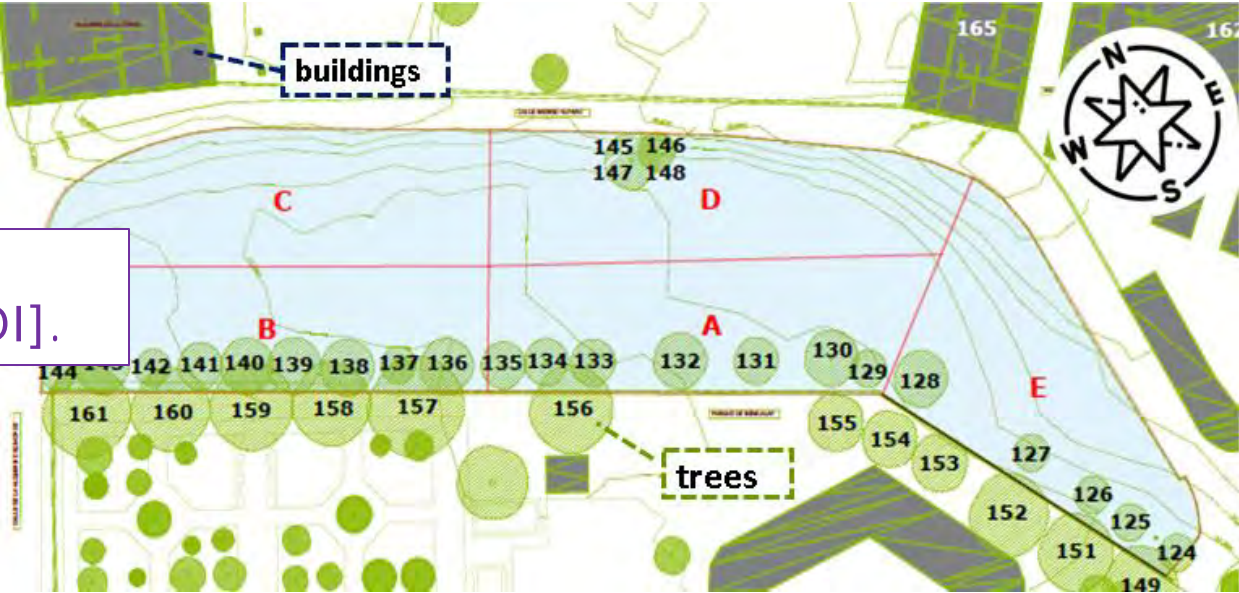
PUNTOS DE INTERÉS [POI].

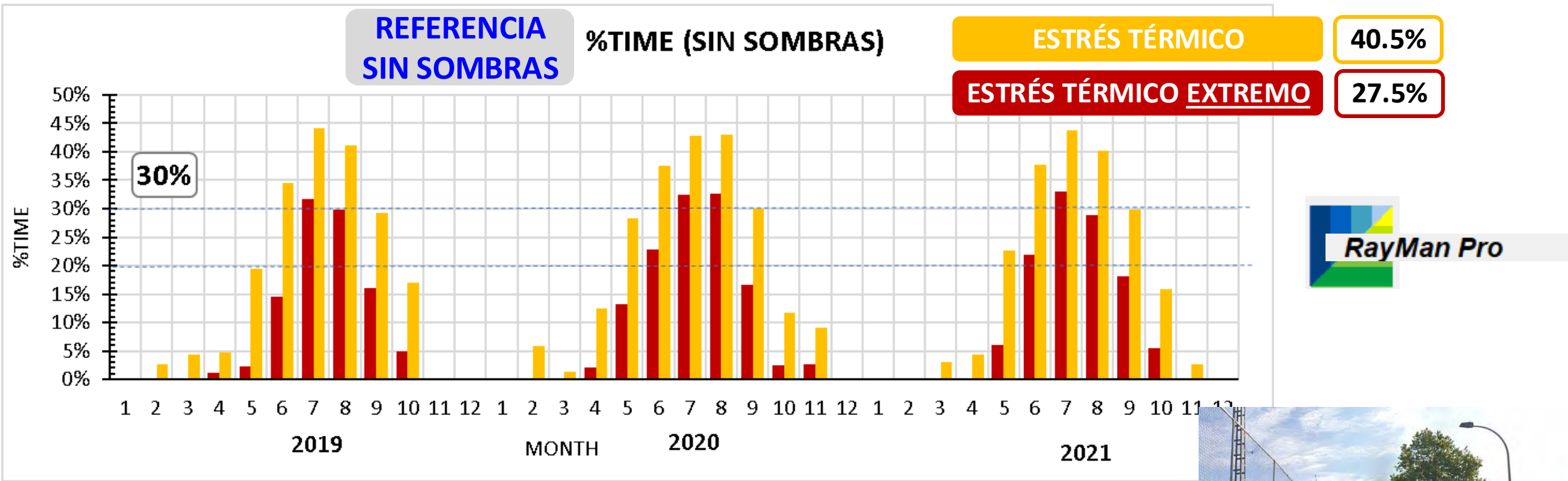
RayMan Pro





PUNTOS DE INTERÉS [POI].





JUNIO – AGOSTO

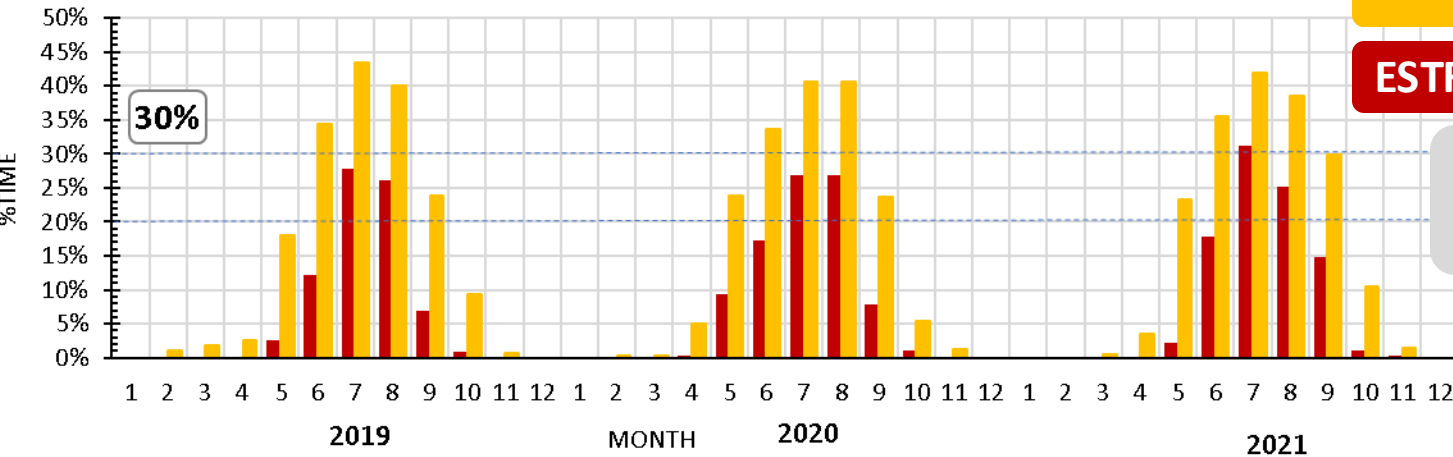
- ESTRÉS TÉRMICO EN VERANO (PET>29):
35-45% [40.5%] DEL TIEMPO
- **ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO EN VERANO (PET>35):**
15-33% [27.5%] DEL TIEMPO

Calle Louis Braille

REFERENCIA SIN SOMBRAS



PILOTO 1 - %TIEMPO (TERRENO BALDÍO)



ESTRÉS TÉRMICO

38%

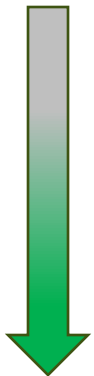
40.5%

ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO

23%

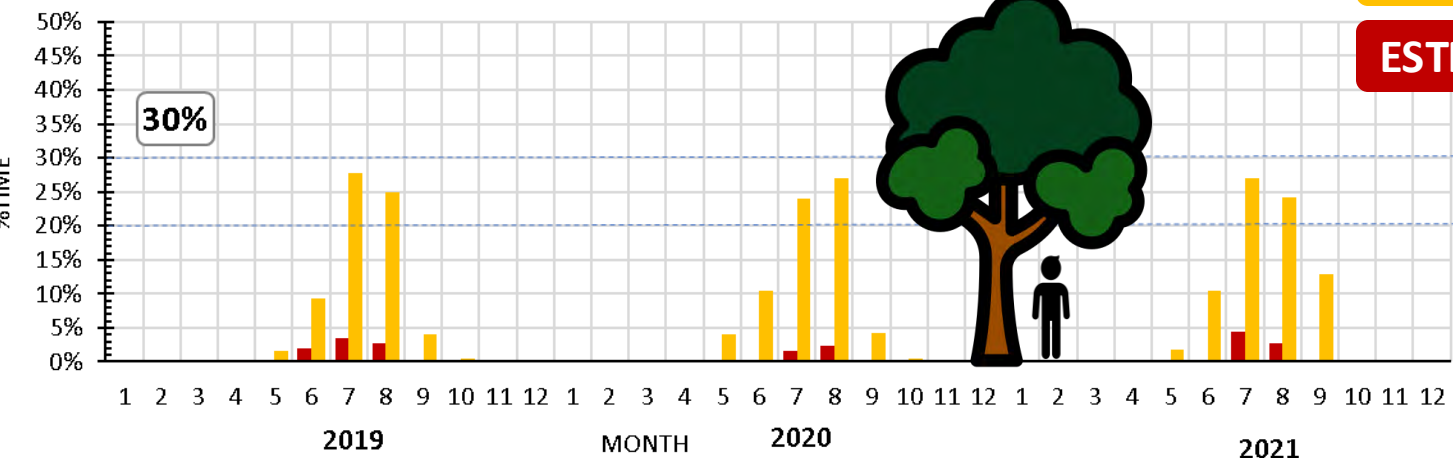
27.5%

TERRENO BALDÍO



REFERENCIA

PILOTO 1, BAJO COPA ZONA ARBOLADA - %TIEMPO (TERRENO BALDÍO)



ESTRÉS TÉRMICO

20.5%

40.5%

ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO

2.1%

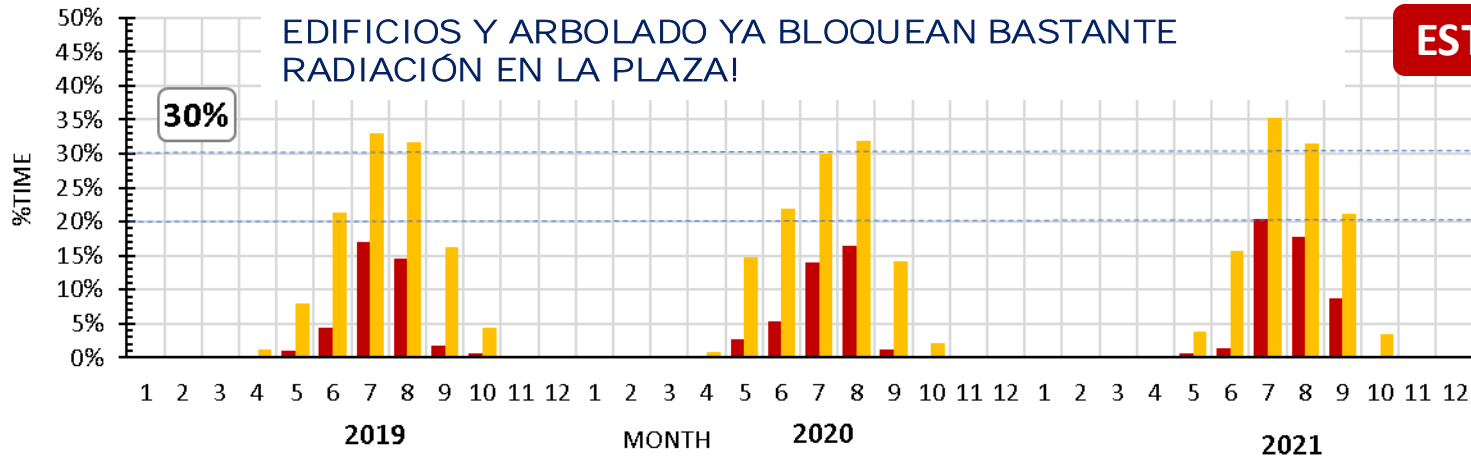
27.5%

REFERENCIA

ARBOLADO REDUCE ESTRÉS TÉRMICO EN UN 46% Y EL ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO EN UN 91%

PILOTO 2 - %TIEMPO (PLAZA)

EDIFICIOS Y ARBOLADO YA BLOQUEAN BASTANTE RADIACIÓN EN LA PLAZA!



ESTRÉS TÉRMICO

28%

40.5%

ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO

12%

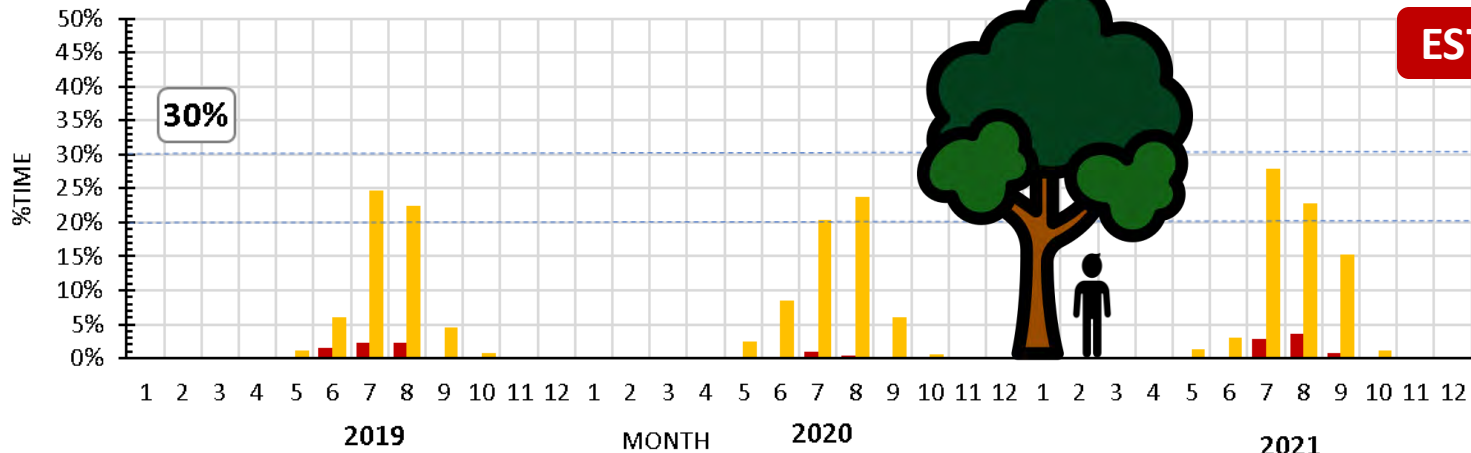
27.5%

REFERENCIA

PLAZA



PILOTO 1, BAJO COPA ZONA ARBOLADA - %TIEMPO (PLAZA)



ESTRÉS TÉRMICO

18.6%

40.5%

ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO

1.6%

27.5%

REFERENCIA

ARBOLADO REDUCE ESTRÉS TÉRMICO EN UN 34% Y EL ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO EN UN 87%

HERRAMIENTAS UTILIZADAS



UMEP (Urban Multi-scale Environmental Predictor)

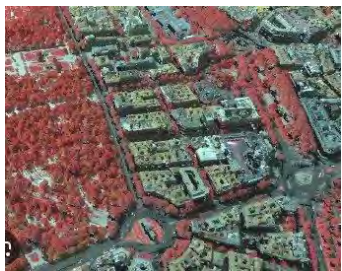
SE PUEDEN CALCULAR INDICES TÉRMICOS: MRT , PET, UTCI Térmico)

Para un punto de interés (POI) u obtener un mapa de resultados

DATOS INPUT

DATOS METEOROLÓGICOS/RADIACIÓN, EDIFICIOS, PARQUES, “PRINCIPALES” SUPERFICIES

- **LIDAR** y modelos derivados (modelos de superficies de edificios y vegetación, y modelo digital del terreno) del proyecto PNOA – LIDAR (IGN)

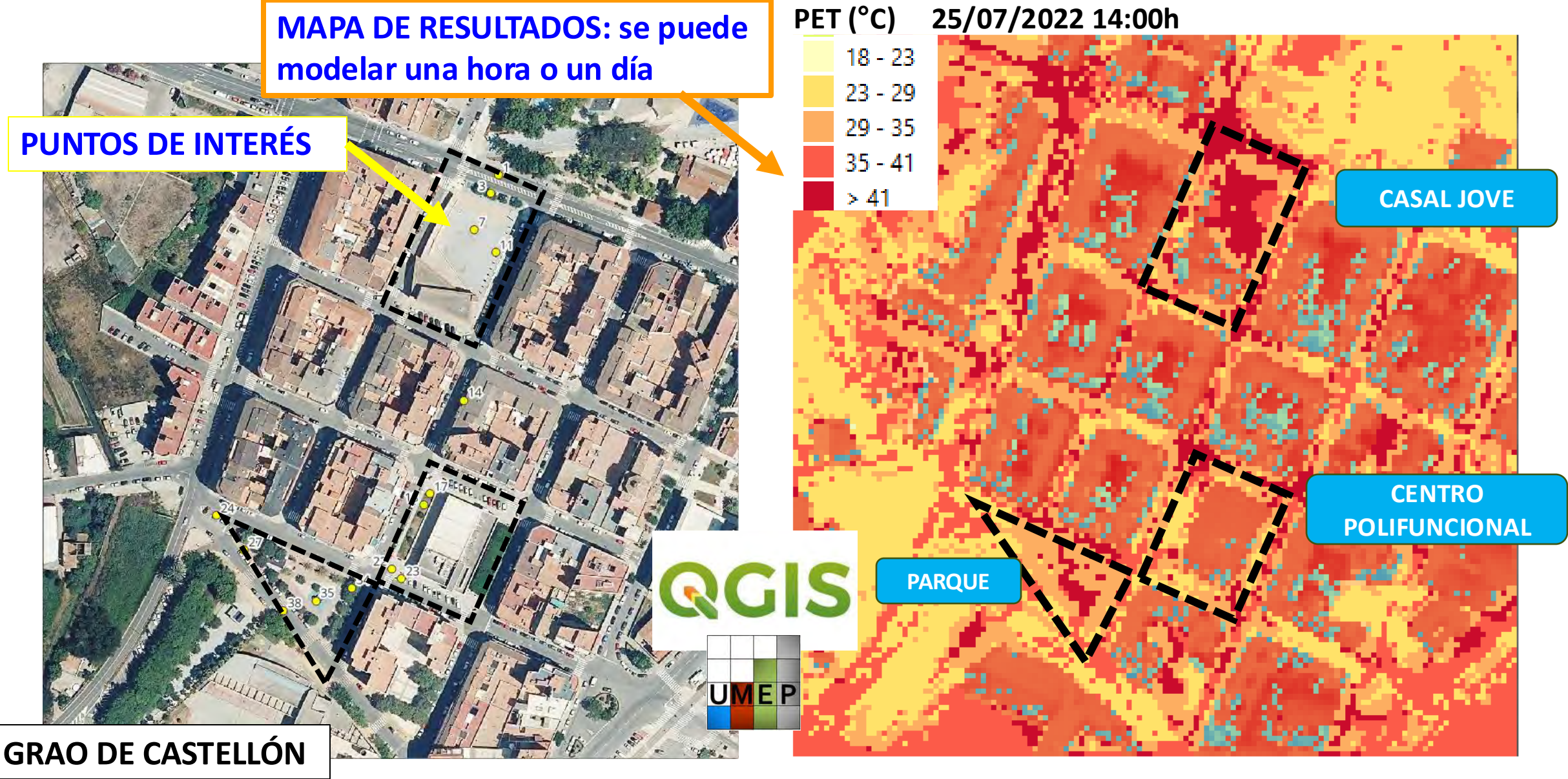


ALTA RESOLUCIÓN EN 2025 (5 puntos por m², anterior era 1 punto cada 2.5 m²)

- **Cubiertas y usos del suelo** del proyecto SIOSE AR (IGN)



- **CARACTERIZACIÓN SIMPLIFICADA DE MATERIALES FACHADA-SUELO-TEJADO**
- **UMEP PUEDE GENERAR UN MODELO DE “VIENTO URBANO”**



Modelo de Viento Urbano (velocidad en m/s)

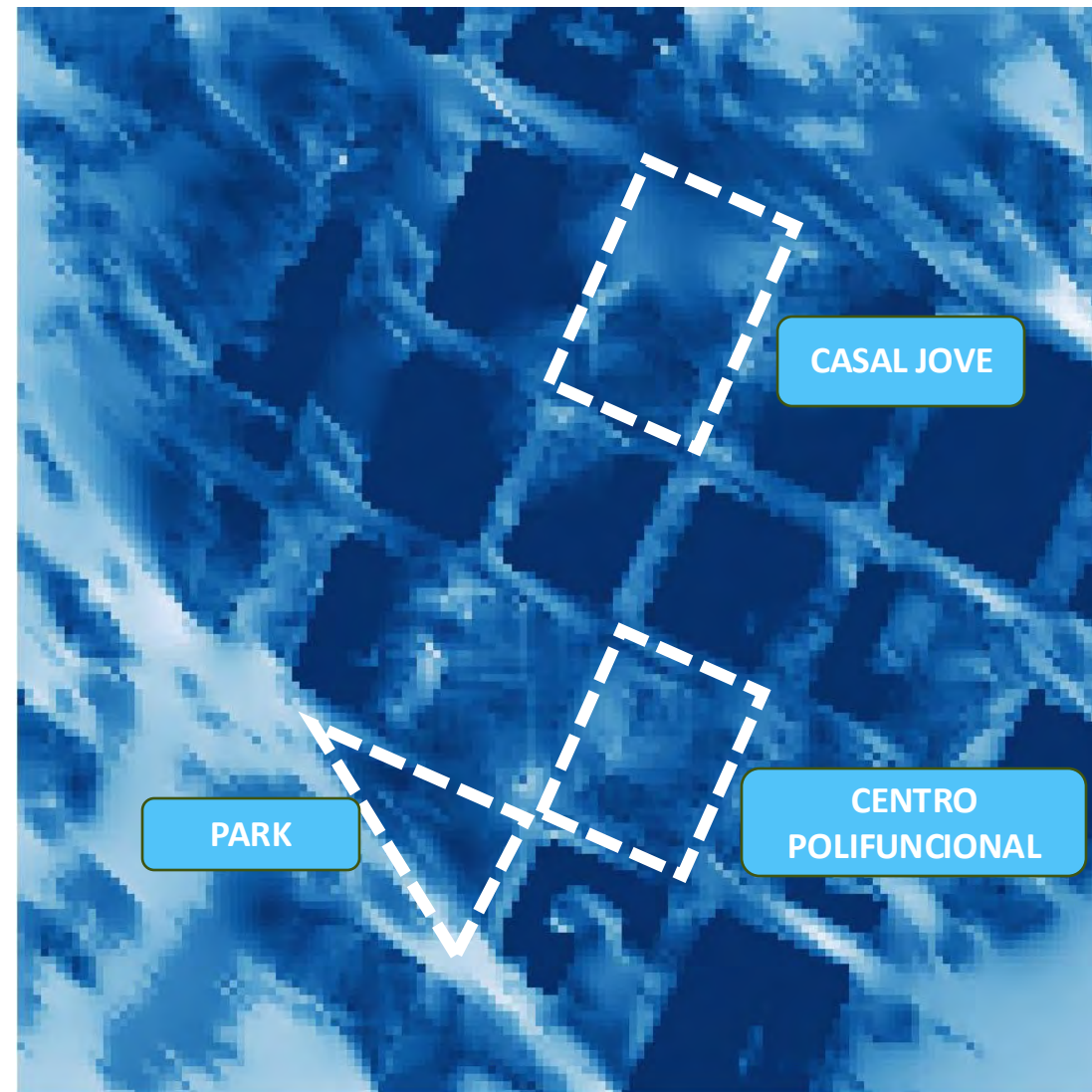
25/07/2022 14:00h

Se genera un modelo para un instante determinado (una medición de velocidad y dirección del viento)

QGIS



Velocidad
Viento (m/s)



- **Medición de VARIABLES METEOROLÓGICAS DURANTE 2 AÑOS**
- **Se simuló con UMEP (plugin de QGIS) la zona de actuación del Proyecto (GRAO DE CASTELLÓN)**
- **Los resultados de reducción del ESTRÉS TÉRMICO URBANO (comparando zonas arboladas con zonas sin sombra) fueron muy similares a lo obtenido en el Proyecto GROW GREEN:**



Zona SOLEADA (PET):

ESTRÉS TÉRMICO	40%
ESTRÉS TÉRMICO <u>EXTREMO</u>	27%

Zona con SOMBRA (PET):

ESTRÉS TÉRMICO	29%
ESTRÉS TÉRMICO <u>EXTREMO</u>	3,8%



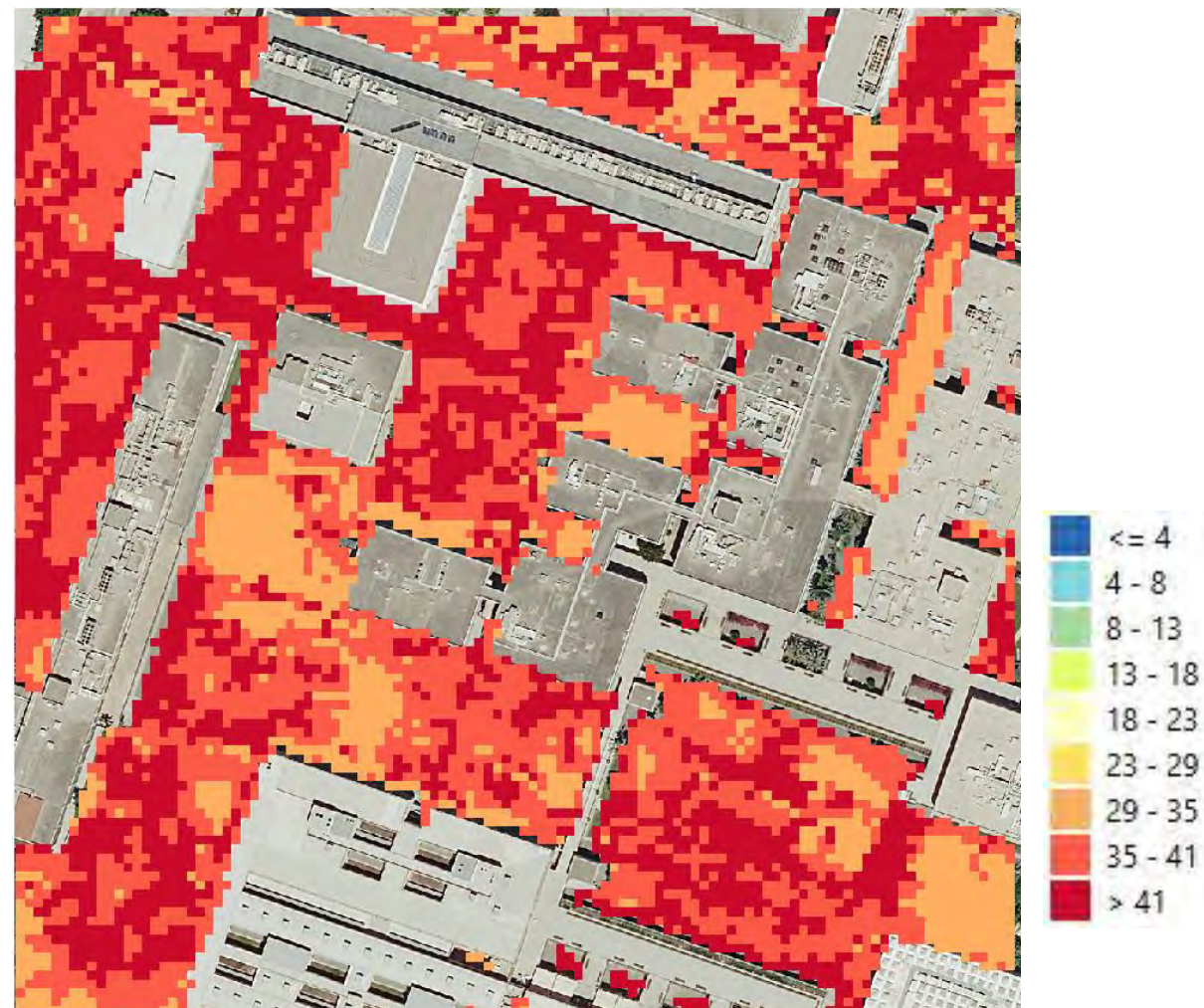
ARBOLADO **REDUCE**
ESTRÉS TÉRMICO EN
UN 28% Y EL ESTRÉS
TÉRMICO **EXTREMO**
EN UN 86%



E.T.S.I. Agronómica y del Medio Natural



Mapa del índice PET Día 01/08/2024 14:00 h



PROYECTO BENVERD (2025-2026) ➔ aplicación a UPV

16



BENVERD



TEMPERATURA
MEDIA
RADIANTE
(MRT)

01/08/2024



CONCLUSIONES

- La metodología de evaluación de beneficios asociados a la infraestructura verde y el arbolado urbano se está desarrollado en base a proyectos previos y experiencias piloto en el área mediterránea (Valencia, Castellón). La mitigación del estrés térmico requiere índices térmicos específicos: PET y UTCI
- Se puede evaluar el estrés térmico urbano y el impacto del arbolado (¡presente o futuro!) en PUNTOS DE INTERÉS o AREAS MÁS GRANDES (BARRIOS / DISTRITOS / CIUDAD) → IDENTIFICAR “PUNTOS CALIENTES”, ZONAS PRIORITARIAS DE ACTUACIÓN.
- La metodología está basada en software específico, mediciones/datos meteorológicos y datos 3D (edificios, arbolado, superficies,...) del área de interés. Se necesita una REFERENCIA VÁLIDA (previa/paralela) para cuantificar el beneficio.
- El ESTRÉS TÉRMICO EXTREMO (asociado a olas de calor normalmente y el más peligroso para la salud) se reduce en un 80-90% en zonas arboladas.
- Se han utilizado herramientas de software libre (QGIS – UMEP) y se han comparado los resultados obtenidos con herramientas de simulación distintas (RAYMAN PRO) en pilotos similares.
- Datos LIDAR 2025 permitirán definir con muy buena resolución edificios y arbolado urbano.

GRACIAS POR LA ATENCIÓN!

David Alfonso Solar – daalso@iie.upv.es



BENVERD

REFERENCIAS

- Modelling of Mean Radiant Temperature and Thermal Indices. RayMan manual version 0.1, April 28, 2017
- Błażejczyk, K.; Jendritzky, G.; Bröde, P.; Fiala, D.; Havenith, G.; Epstein, Y.; Psikuta, A.; and Kampmann, B., 2013: An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica* 86(1).
- Matzarakis, A. and Mayer, H., 1996: Another kind of environmental stress: Thermal stress. *WHO Newsletter* (18), 7–10.
- Amini, H., Jabari, S., & McGrath, H., 2025. Assessing Future Changes in Mean Radiant Temperature: Considering Climate Change and Urban Development Impacts in Fredericton, New Brunswick, Canada, by 2050. *GeoHazards*, 6(1), 10. <https://doi.org/10.3390/geohazards6010010>

AUTORES / PARTICIPANTES

- David Alfonso-Solar (IUIIE, UPV)*
- Elisa Peñalvo-López (IUIIE, UPV)
- Natalia Brines-Gimeno (IUIIE, UPV)
- Elías Hurtado-Pérez (IUIIE, UPV)
- Francisco Galiana (ACUMA, UPV)
- Maria Valles-Planells (ACUMA, UPV)
- Eloína Coll-Aliaga (ITACA, UPV)
- Javier Orozco-Messana (ITM, UPV)
- Elena De La Poza (INECO, UPV)