

SOBRE EL IMPACTO DEL *SURFACE ENERGY BALANCE* (SEB) URBANO EVALUADO MEDIANTE UN GEMELO DIGITAL CFD A ESCALA DE DISTRITO

Esther Rivas^{1*}, José Luis Santiago¹, Alberto Martilli¹, Beatriz Sánchez¹, Fernando Martín¹, Fred Meier², David Hervés³,
Mariano Sastre³, Mark Theobald¹, Marta García Vivanco¹

¹Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, España

²Technische Universität Berlin (TUB), Berlín, Alemania

³Universidad Complutense de Madrid (UCM), Madrid, España

*Autora de referencia: esther.rivas@ciemat.es

Introducción

Las muertes atribuidas al calor en España triplican la media de los últimos cinco años

► Se calcula que este año han muerto más de 4.700 personas en España por causas relacionadas con el calor

07.09.2022 | 19:40 horas Por JAIME GUTIÉRREZ | DatosRTVE

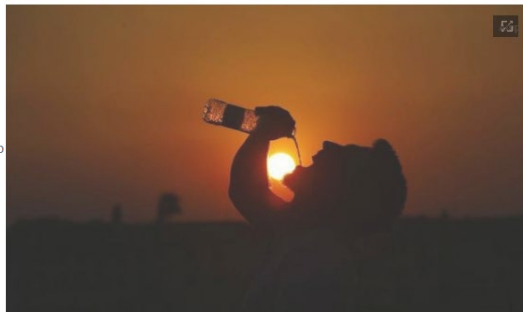


La alerta de la OMS sobre las muertes por ola de calor en España

El director de la Oficina Regional para Europa de la Organización Mundial de la Salud, Hans Kluge, ha avisado de que sólo en nuestro país y Portugal ya han fallecido este año más de 1.700 personas

EP
Viernes, 22 de julio 2022, 11:54

SUR

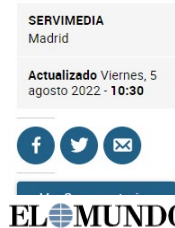


España es el país europeo con más riesgo de muerte por calor extremo

Los fallecimientos por altas temperaturas han aumentado un 95% en los últimos veinte años en Europa

El mundo, cada vez más expuesto a la inseguridad alimentaria

elPeriódico



Aumenta el número de pacientes e ingresos en los hospitales de Castilla-La Mancha por las sucesivas olas de calor

26 julio 2022

0



Incremento de ingresos hospitalarios

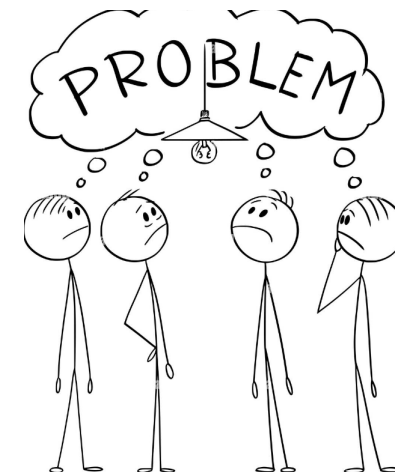
El responsable de Sanidad de UGT Servicios Públicos Castilla-La Mancha, Fernando Peiró, ha alertado del incremento de pacientes e ingresos hospitalarios que se está produciendo en los centros salud y hospitales de la región debido a las sucesivas olas de calor que está sufriendo nuestra comunidad autónoma.

Madrid vive el verano con más días de ola de calor y noches tórridas desde 1920



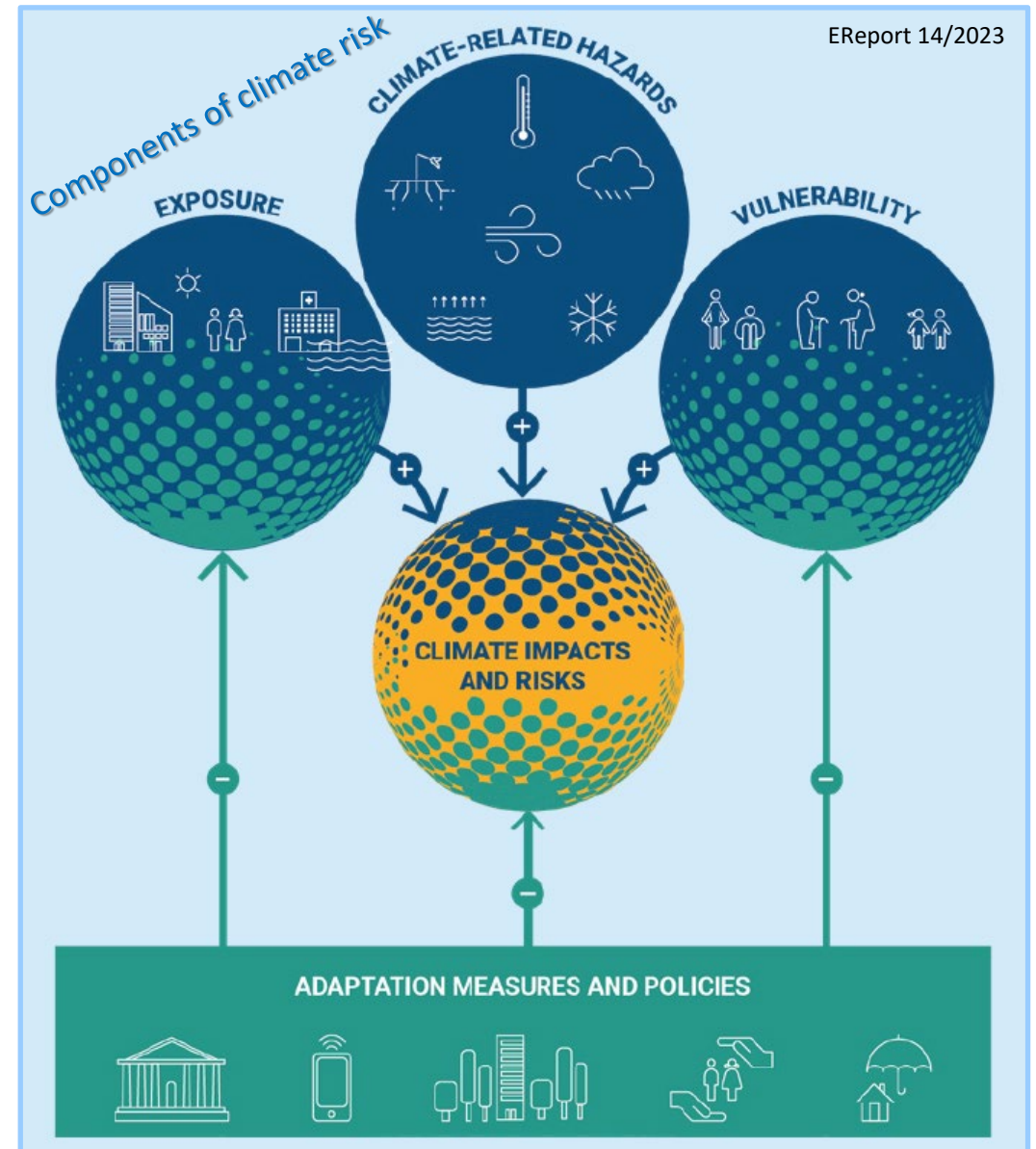
Turistas refrescándose en la capital. J. BARBANCHO

**Prolongación de olas de calor
noches tropicales más
frecuentes**



Introducción

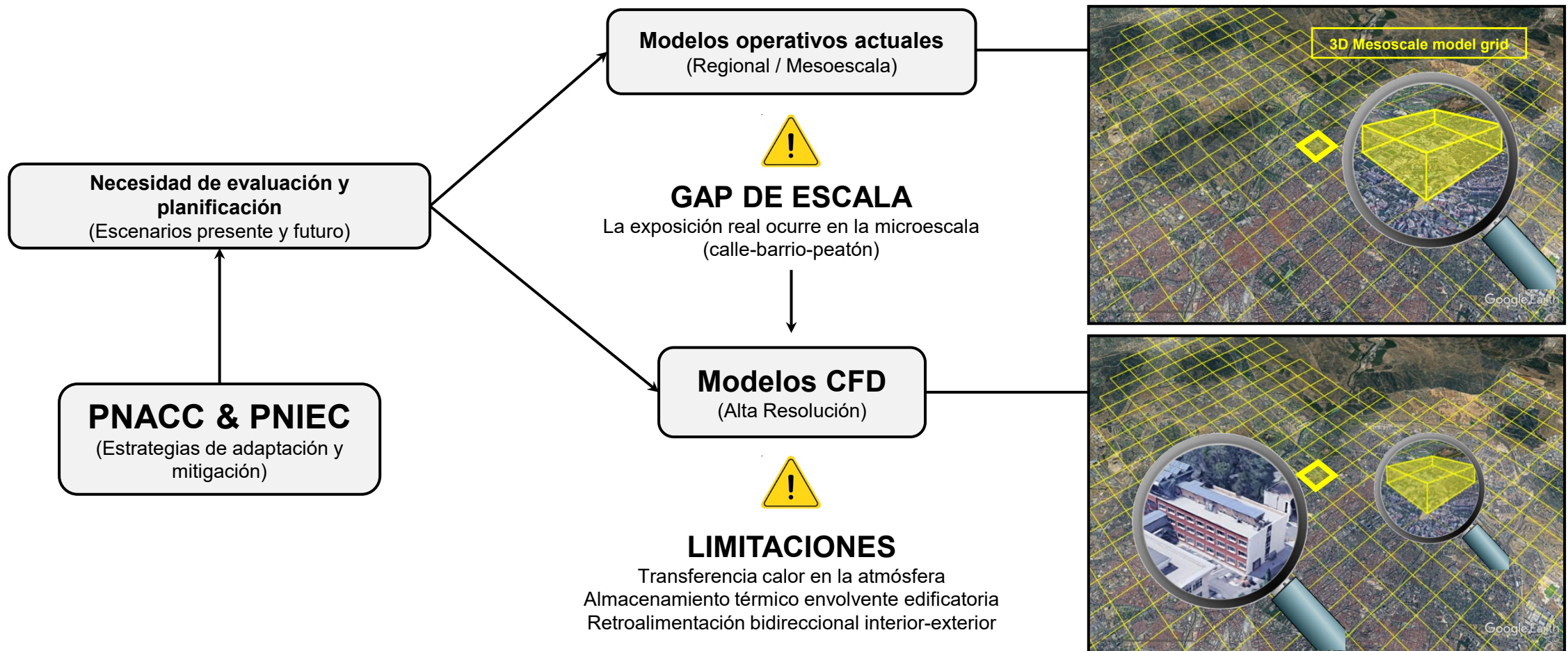
- Las olas de calor son la mayor amenaza sanitaria directa relacionada con el clima
- El estrés térmico puede exacerbar las enfermedades cardiovasculares y de salud mental, la diabetes y el asma
- El calor reduce la productividad laboral y aumenta el riesgo de accidentes
- También puede alterar y poner en peligro los servicios sanitarios esenciales, interrumpiendo el suministro eléctrico y el transporte
- Los impactos del calor dependen del evento (intensidad y duración), de factores fisiológicos (edad y estado de salud), de factores de exposición (ocupación y condiciones socioeconómicas) y del grado de resiliencia climática (medidas de adaptación)







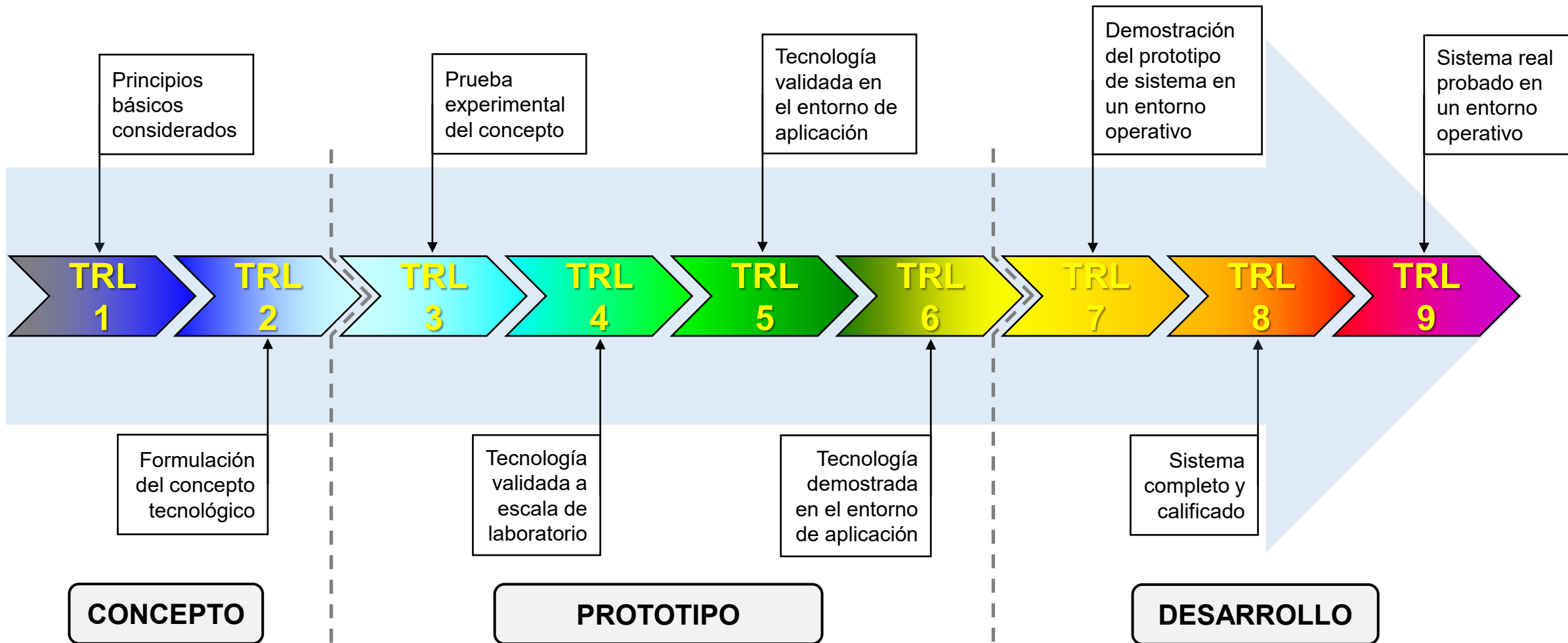
Introducción



OBJETIVO:

DESARROLLO DE UN GEMELO DIGITAL CFD A ESCALA DE DISTRITO PARA EVALUAR EL IMPACTO DE ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN EN EL CONFORT TÉRMICO PEATONAL

Metodología



TECHNOLOGY READINESS LEVELS (TRL)

(European Commission. *Technology Readiness Levels (TRL)*; Technical Report; Extract from Part 19—Commission Decision C(2014)4995; European Commission: Brussels, Belgium, 2014.)

(*) Un gemelo digital CFD es una representación virtual dinámica de un sistema físico real (por ejemplo, un distrito), basada en un modelo CFD ajustado y validado, capaz de simular su comportamiento físico en diferentes condiciones reales (por ejemplo, condiciones meteorológicas, emisiones de tráfico, etc.).



TECHNOLOGY READINESS LEVELS (TRL)

(European Commission. *Technology Readiness Levels (TRL)*; Technical Report; Extract from Part 19—Commission Decision C(2014)4995; European Commission: Brussels, Belgium, 2014.)

(*) Un gemelo digital CFD es una representación virtual dinámica de un sistema físico real (por ejemplo, un distrito), basada en un modelo CFD ajustado y validado, capaz de simular su comportamiento físico en diferentes condiciones reales (por ejemplo, condiciones meteorológicas, emisiones de tráfico, etc.).



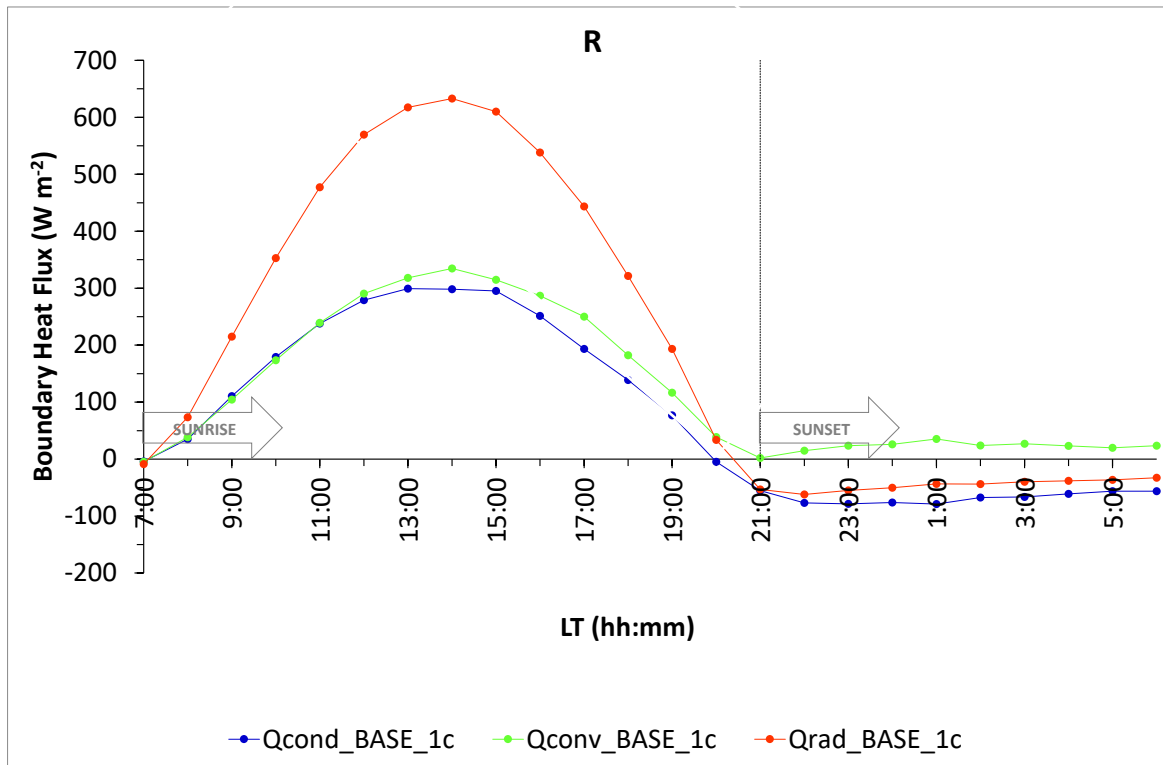
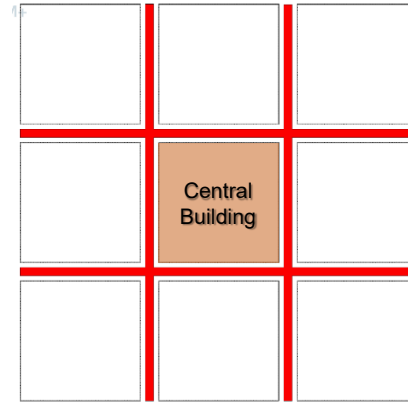
TECHNOLOGY READINESS LEVELS (TRL)

(European Commission. *Technology Readiness Levels (TRL)*; Technical Report; Extract from Part 19—Commission Decision C(2014)4995; European Commission: Brussels, Belgium, 2014.)

1. Componentes del SEB:

CHT interior-exterior a través de los elementos de la envolvente del edificio (suelo, muros y tejados). En cada interface de contacto sólido-fluido en x_i y $\forall t$:

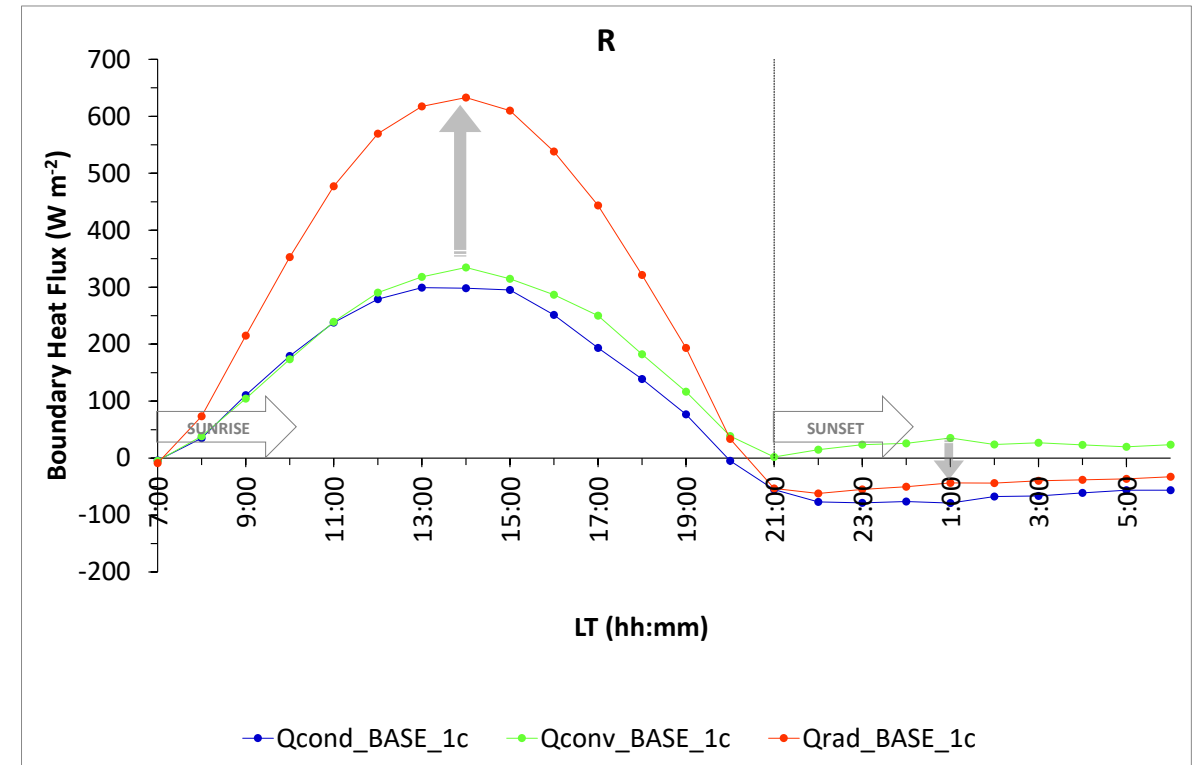
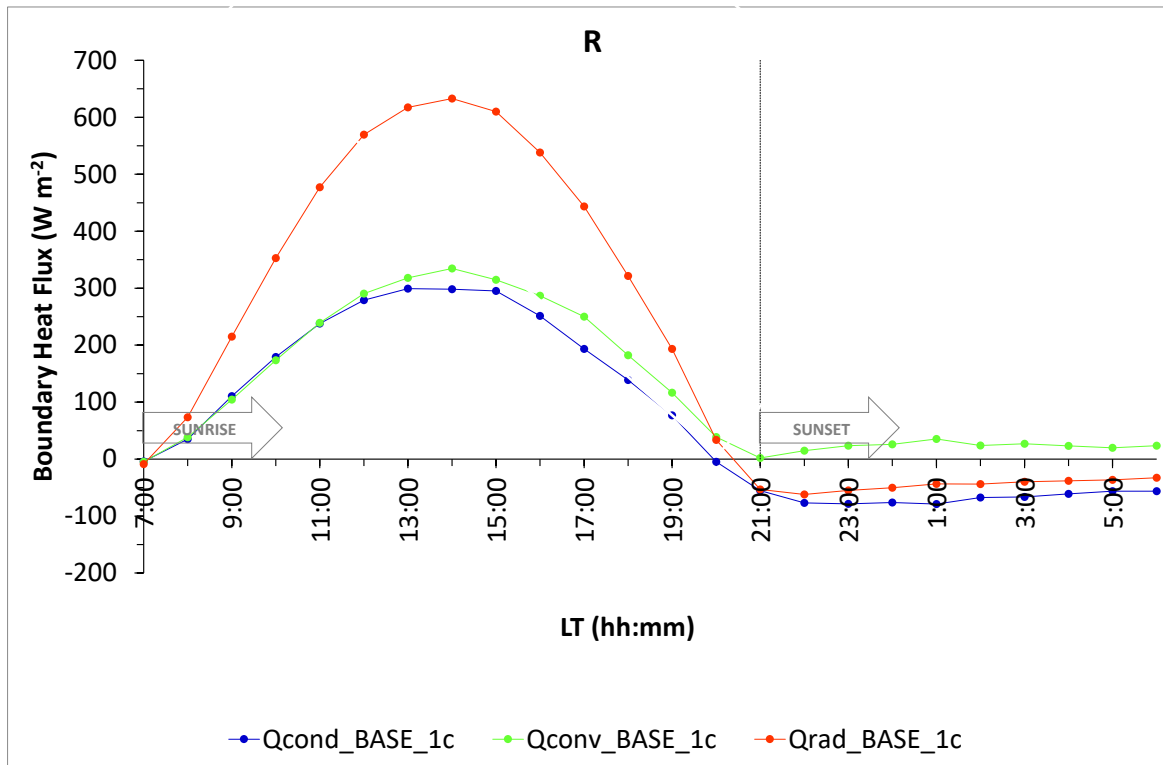
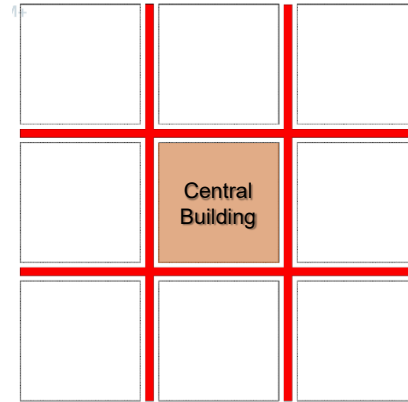
$$q_{rad}|_{x_i} = q_{conv}|_{x_i} + k \frac{\partial T}{\partial x_i} \Big|_{x_i} \quad i = 1, 2, 3. \quad q_{rad} = (q_{SW\downarrow} - q_{SW\uparrow}) + (q_{LW\downarrow} - q_{LW\uparrow})$$



1. Componentes del SEB:

CHT interior-exterior a través de los elementos de la envolvente del edificio (suelo, muros y tejados). En cada interface de contacto sólido-fluido en x_i y $\forall t$:

$$q_{rad}|_{x_i} = q_{conv}|_{x_i} + k \frac{\partial T}{\partial x_i} \bigg|_{x_i} \quad i = 1, 2, 3. \quad q_{rad} = (q_{SW\downarrow} - q_{SW\uparrow}) + (q_{LW\downarrow} - q_{LW\uparrow})$$

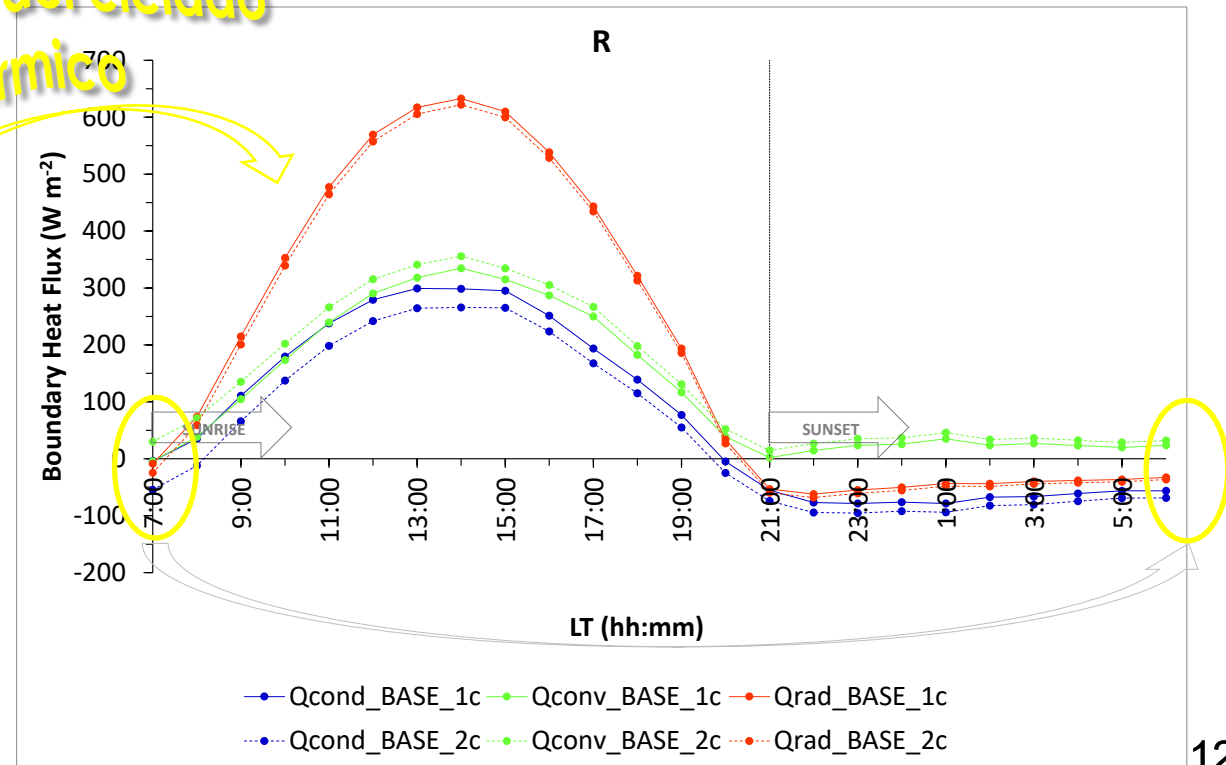
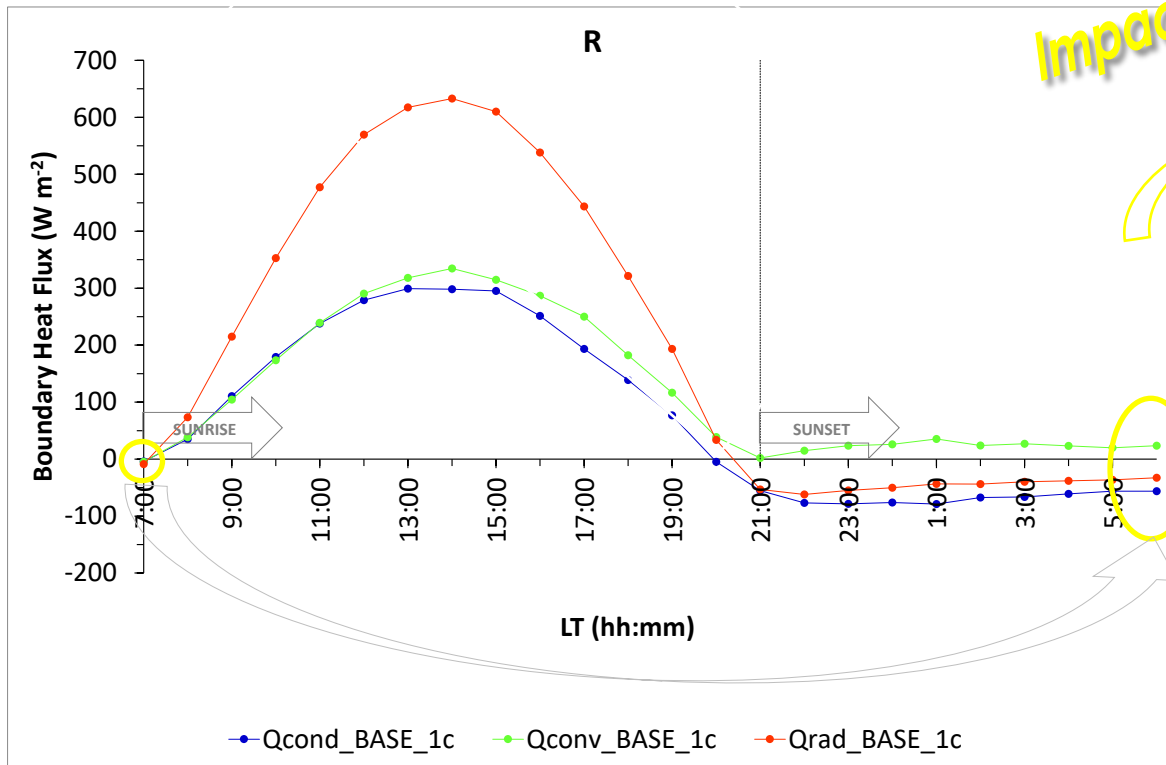
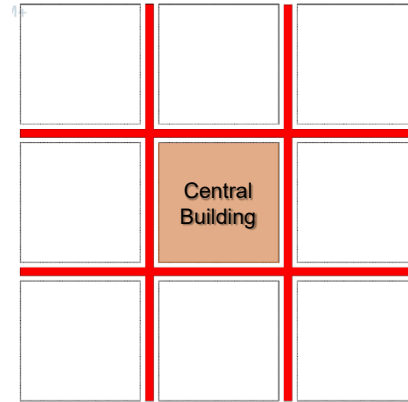


2. Impacto del ciclado térmico en el SEB:

Historia térmica a t_0 :

$$1^{st} \text{ cycle} \rightarrow T|_{x_i} = T_0 \quad i = 1, 2, 3.$$

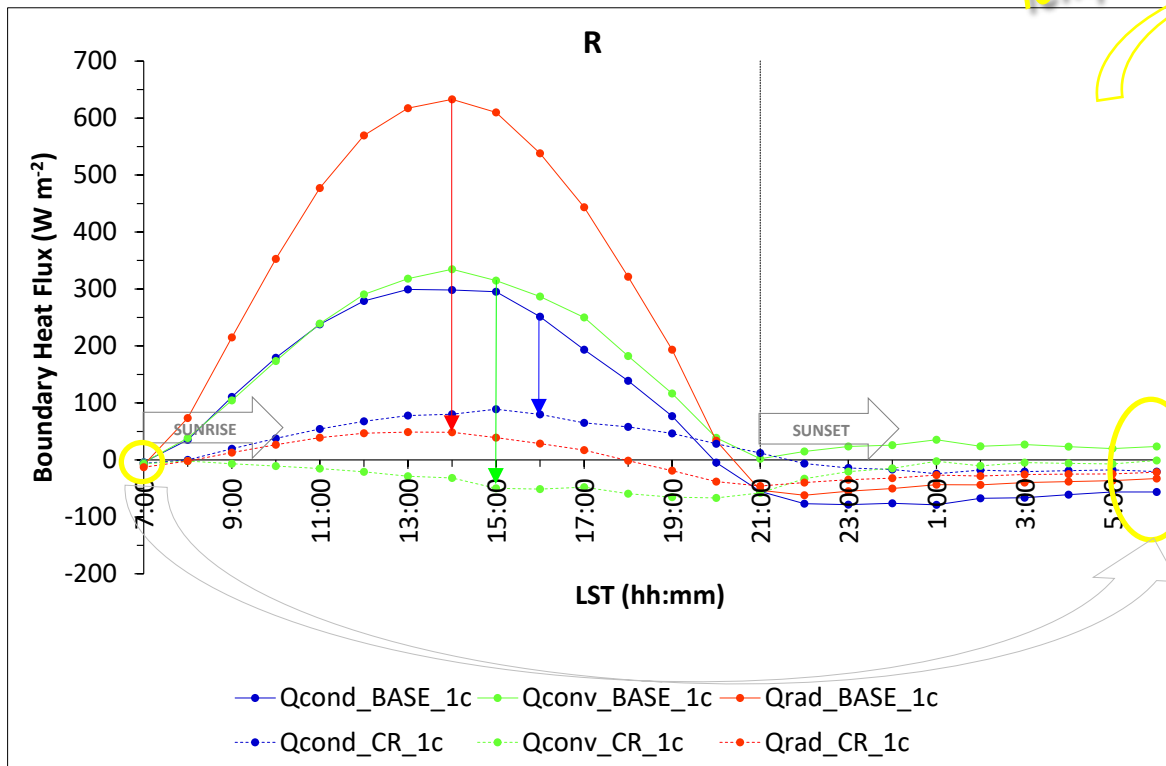
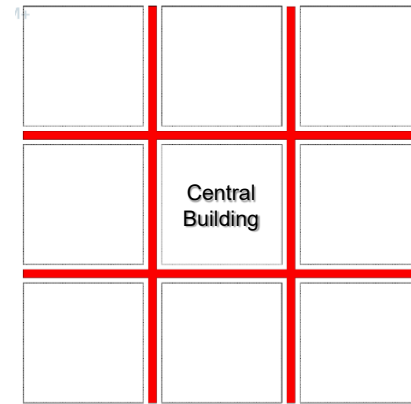
$$2^{nd} \text{ cycle} \rightarrow T|_{x_i} \neq T_0 \quad i = 1, 2, 3.$$



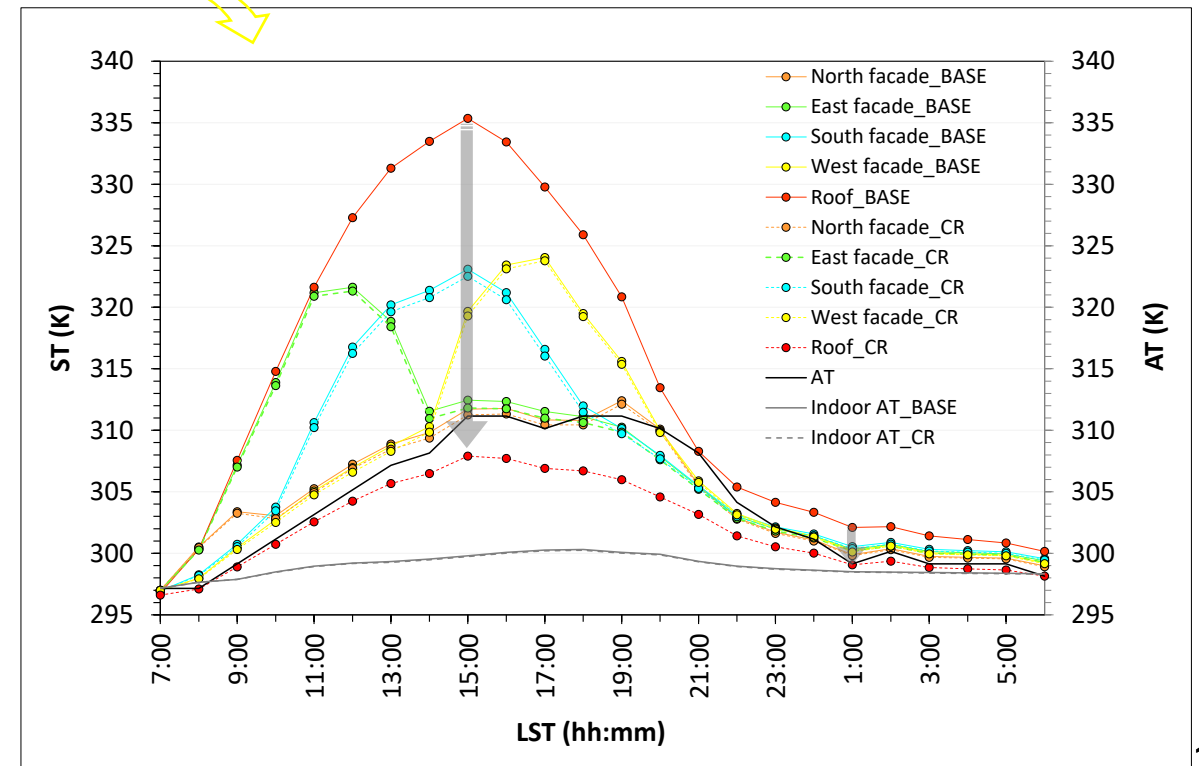
3. Impacto de las propiedades ópticas de las superficies en el SEB:

Albedo α : Tejado convencional $\alpha = 0,1$ vs. Tejado frío $\alpha = 0,9$

1st cycle.



Impacto en las temperaturas superficiales



- ❖ El gemelo digital CFD ha alcanzado el TRL 6 para la evaluación del SEB urbano a escala de distrito.
- ❖ El almacenamiento térmico (ΔQ_s) emerge como uno de los términos dominantes del SEB bajo condiciones extremas.
- ❖ El ciclado térmico genera una memoria térmica urbana que prolonga la persistencia del calor.
- ❖ Las propiedades ópticas de las superficies actúan directamente sobre el término radiativo primario del SEB, con posibles implicaciones en el confort térmico peatonal.

XXXVII Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española y 24° Encuentro Hispano-Luso de Meteorología
Málaga del 25 al 27 de febrero 2026

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

Esther Rivas Ramos
esther.rivas@ciemat.es

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
Avenida Complutense 40, 28040 Madrid, España

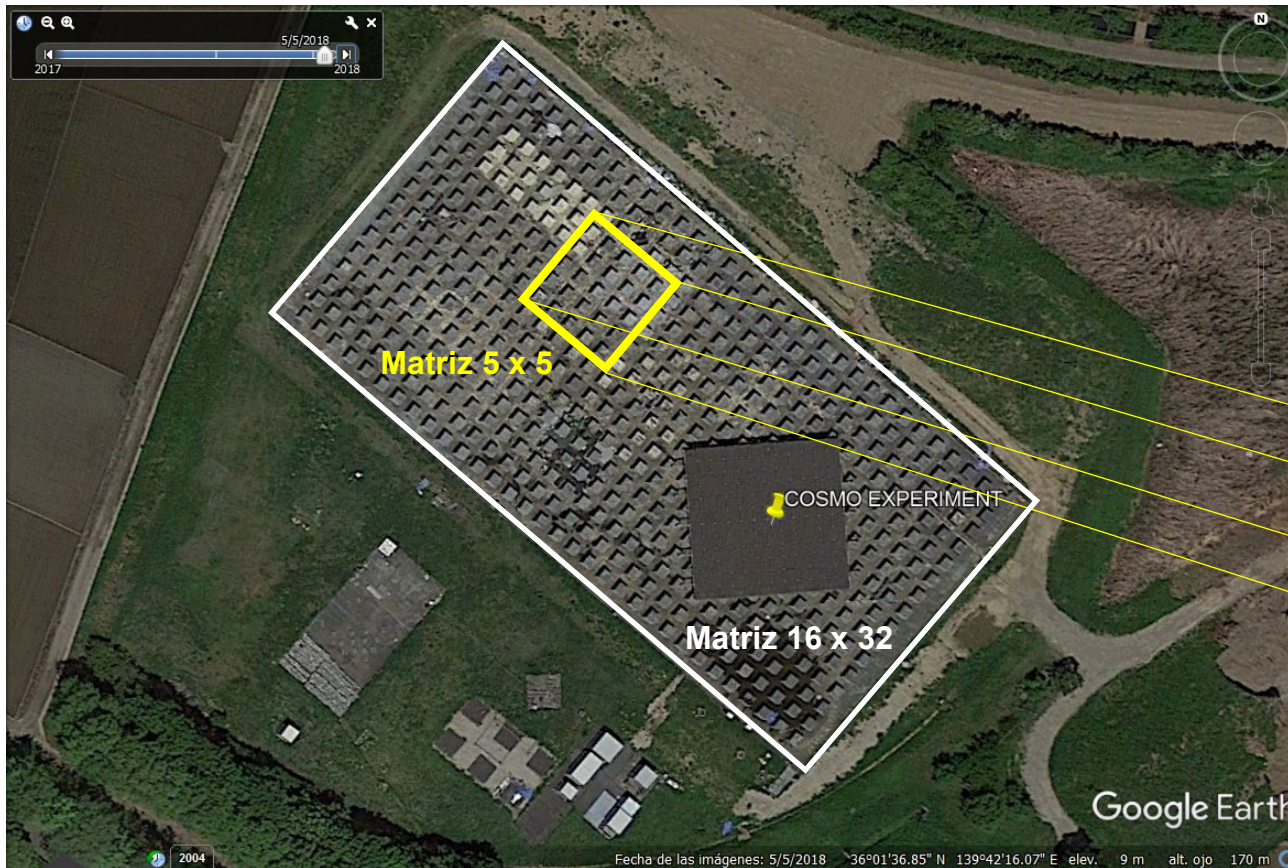


Transparencias adicionales

CFD Modelo 1: COSMO TRL 4

Comprehensive Outdoor Scale Model Experiment (JPN)

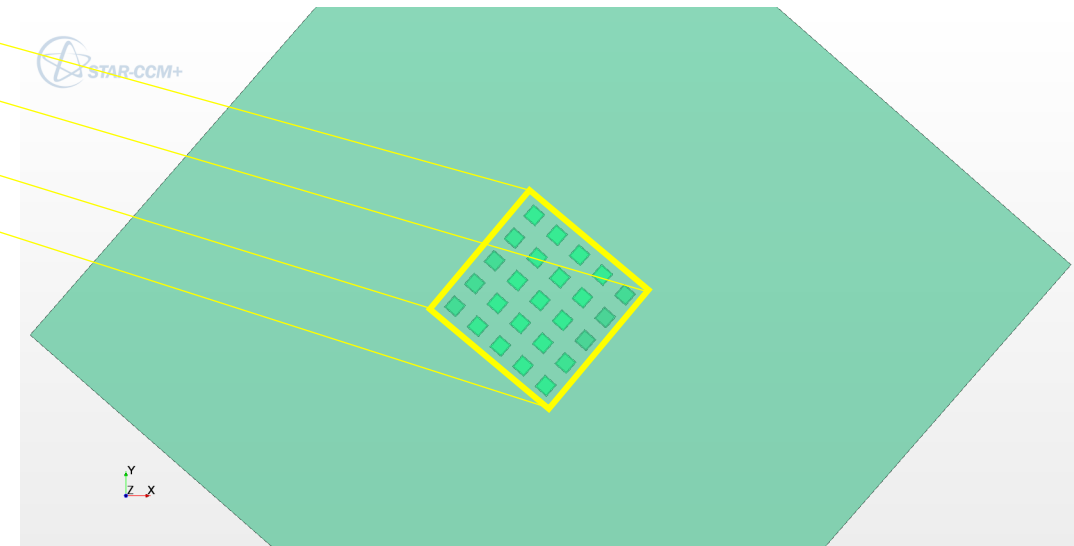
Campus del Instituto Tecnológico Nipón



(Fuente: Google Earth)

Características urbanas:

- ☐ Cubos en línea
- ☐ $H/W = 1$
- ☐ $z_H = 1.5$ m
- ☐ Envolvente de los cubos:
 - Muros = 0.1 m
 - Cubiertas = 0.1 m
 - Suelo = 0.1 m

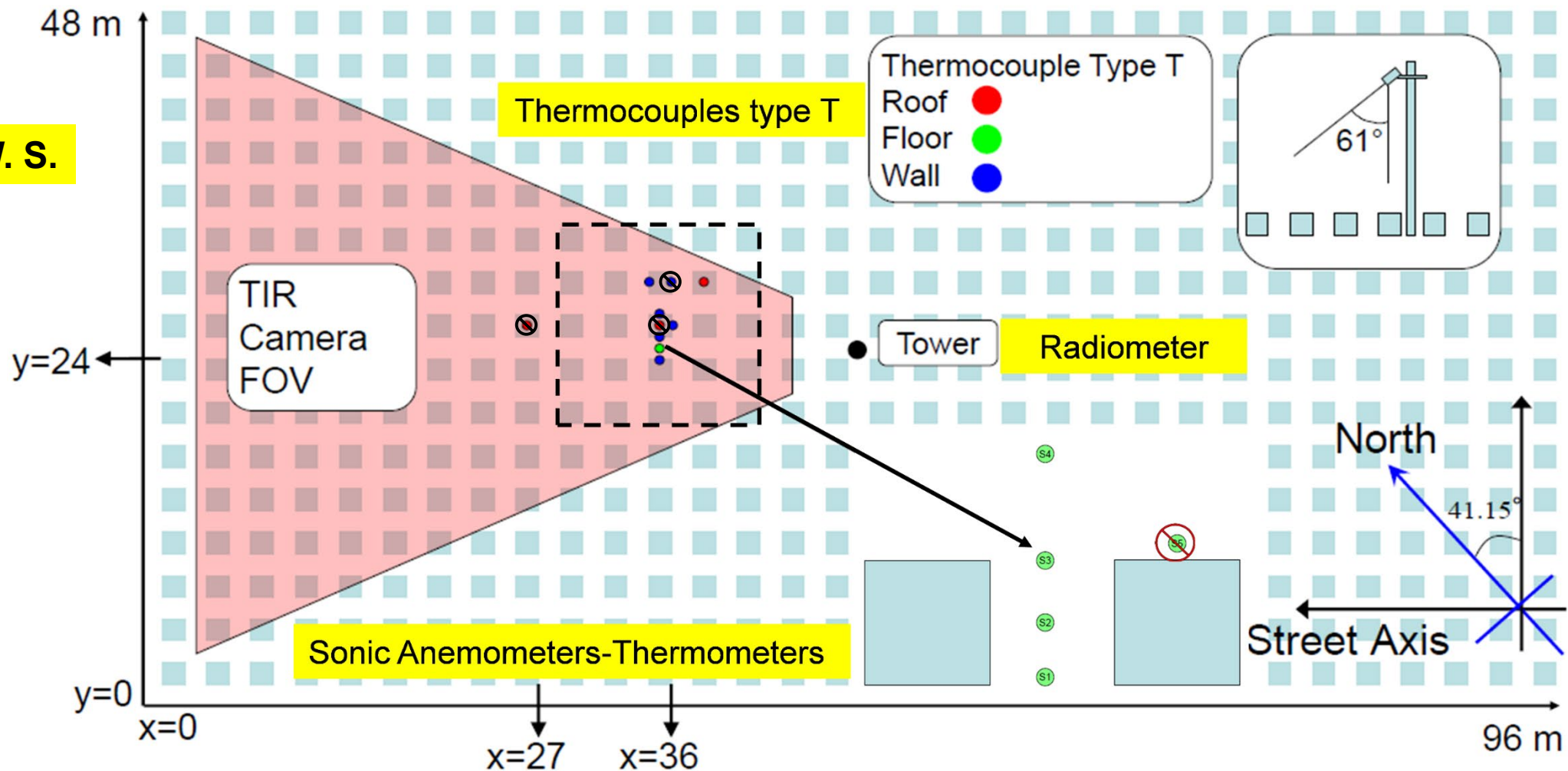


Gemelo Digital: Cubos (CFD: STAR-CCM+16.02.009-R8®)

CFD Modelo 1: COSMO TRL 4

Comprehensive Outdoor Scale Model Experiment (JPN)

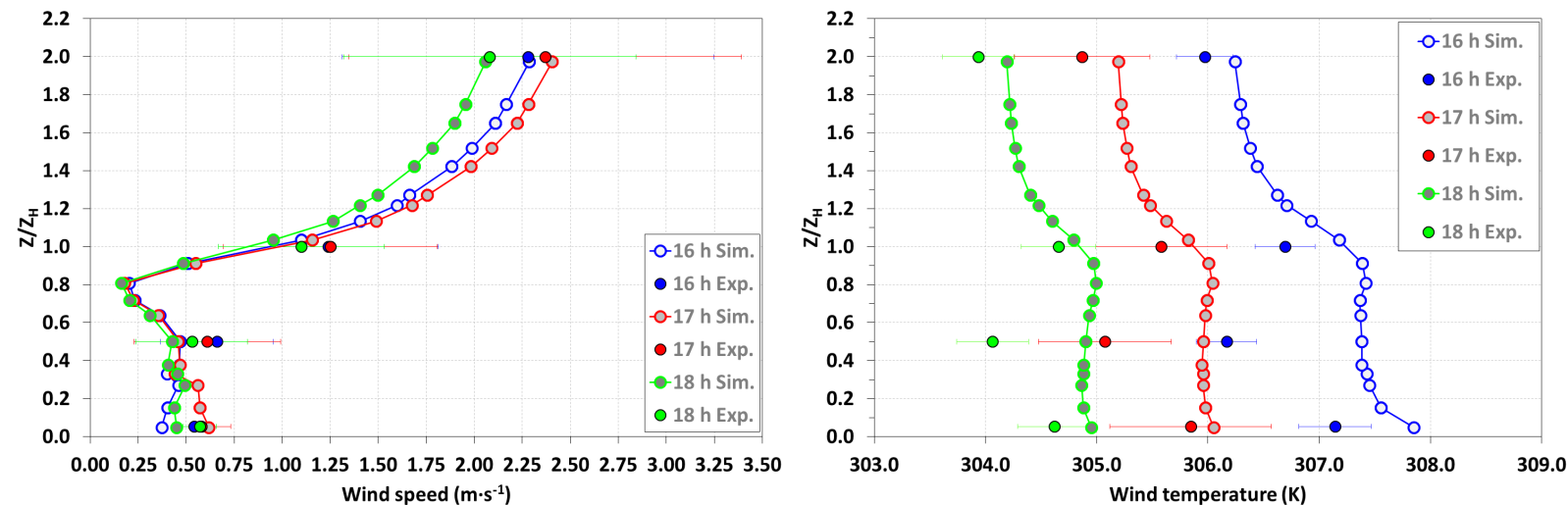
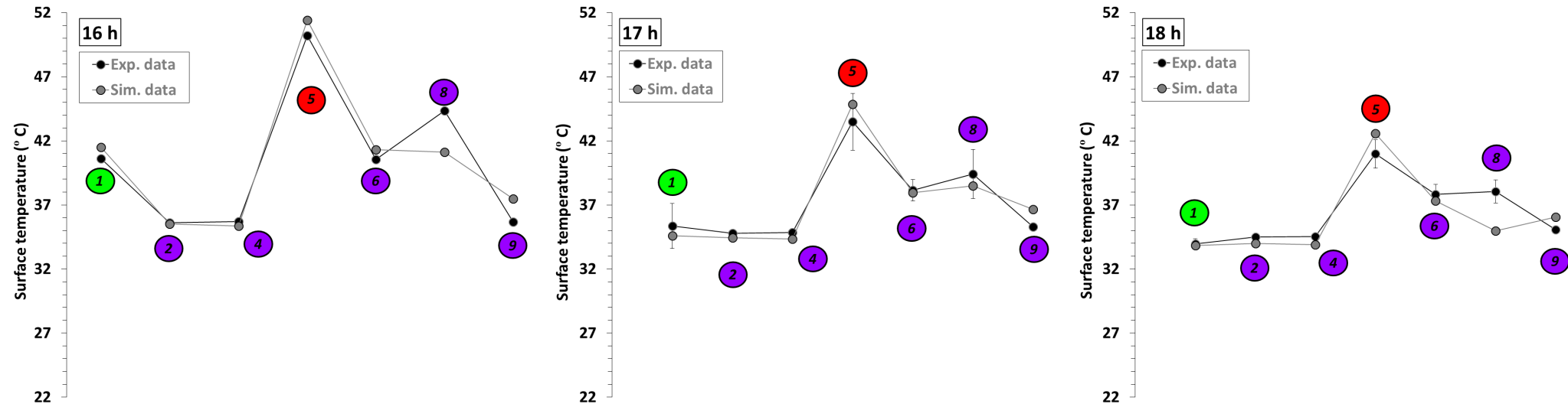
KUKI W. S.



CFD Modelo 1: COSMO TRL 4

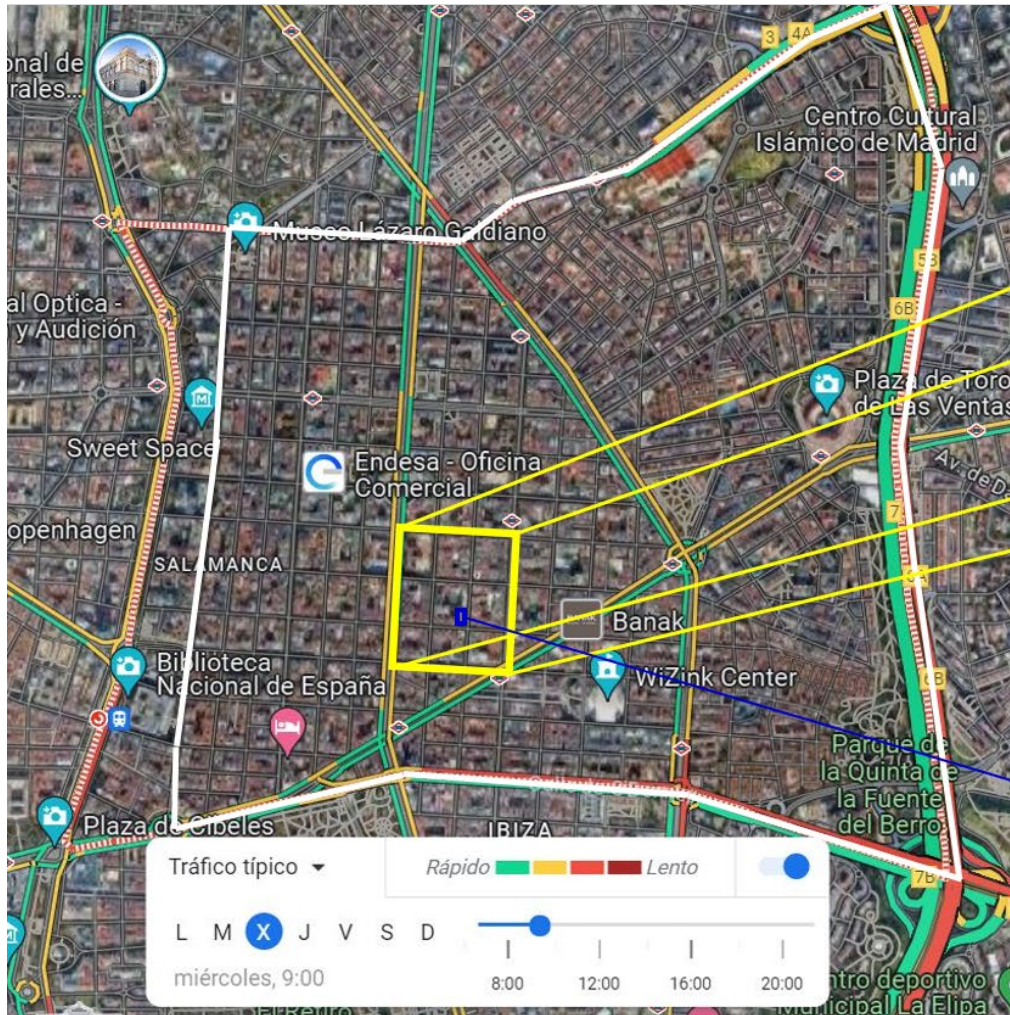
11 de Julio de 2009

Evaluación del modelo:

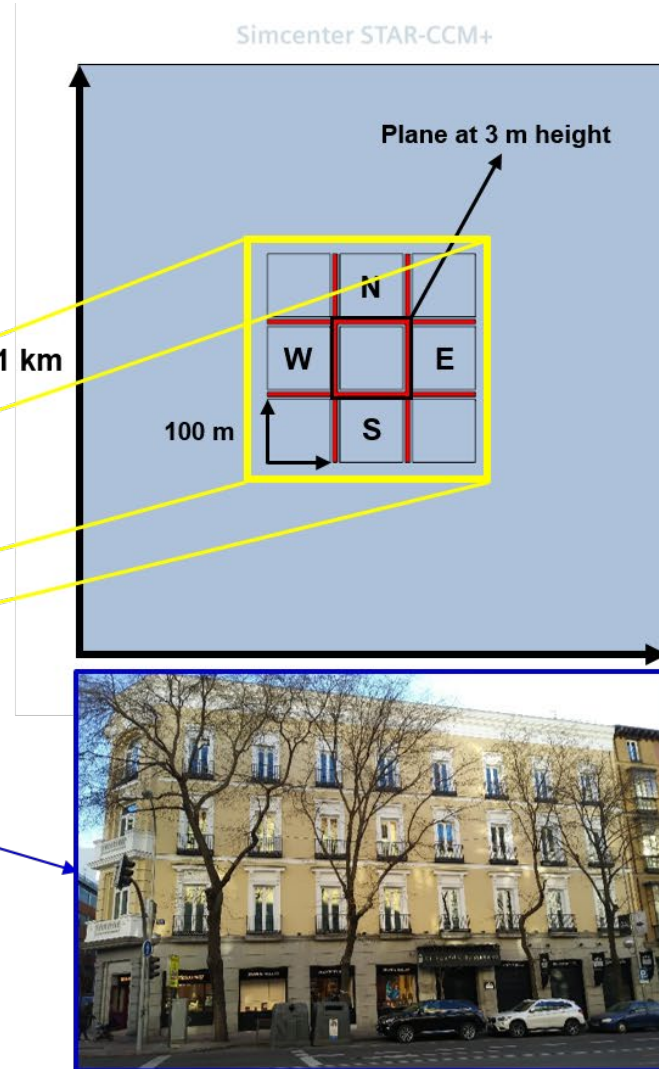


CFD Modelo 2-3: COSMO TRL 5-6

Barrio de Salamanca (Madrid, ES) :



(Fuente: Google Earth)



Características urbanas:

- ☐ Manzanas en línea
- ☐ $H/W = 1$
- ☐ $z_H = 15$ m
- ☐ Envolvente de las manzanas:
 - Ventanas ≈ 0 m (*WWR 30 %)
 - Muros = 0.5 m
 - Cubiertas = 1 m
 - Suelo = 1 m

Características movilidad:

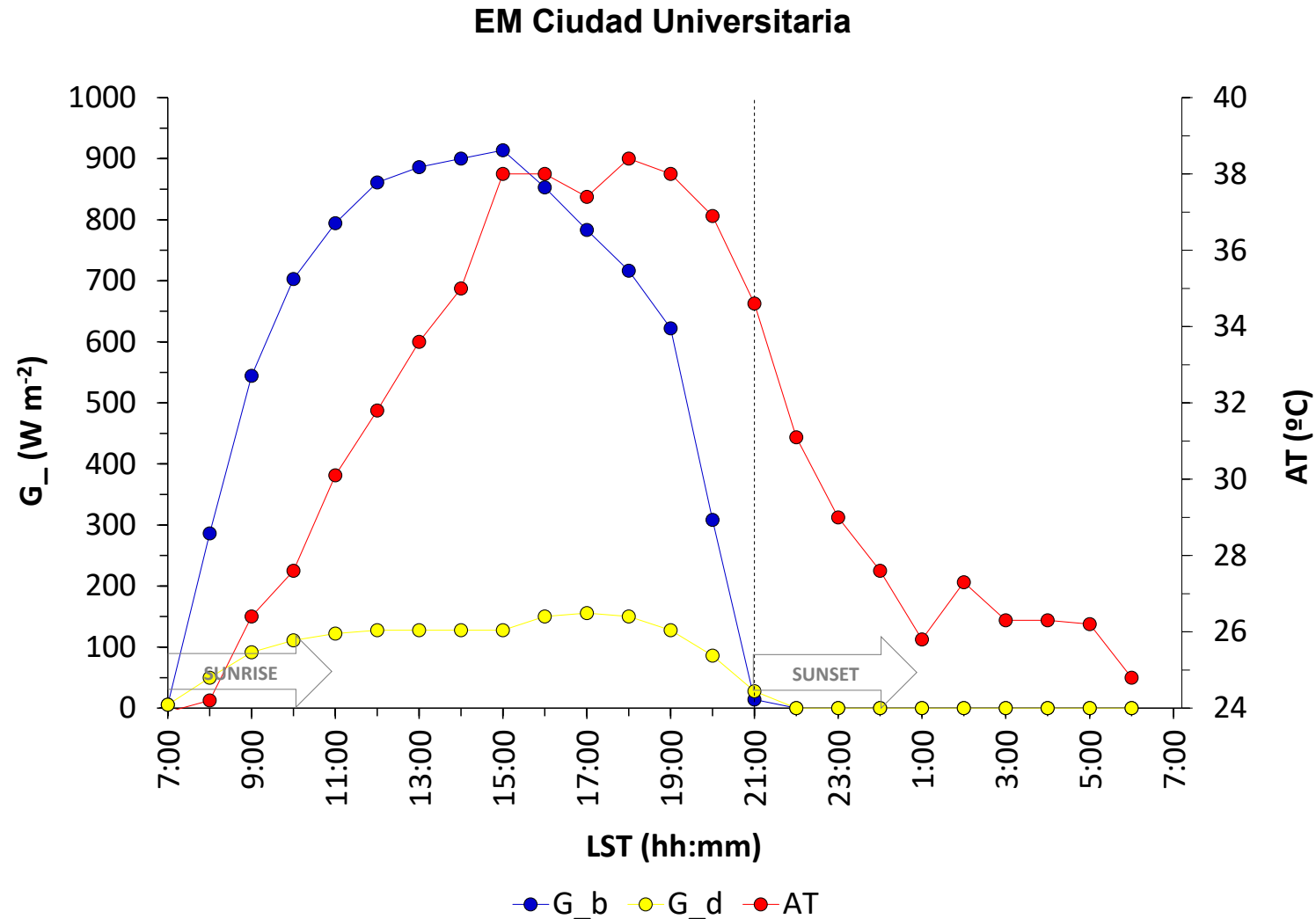
- ☐ Tráfico CTE
- Emisiones = 1 m

Gemelo Digital: Manzanas y Emisiones de Tráfico
(CFD: STAR-CCM+16.02.009-R8®)

CFD Modelo 2-3: COSMO TRL 5-6

Episodio de Ola de Calor:

15 de Julio de 2015

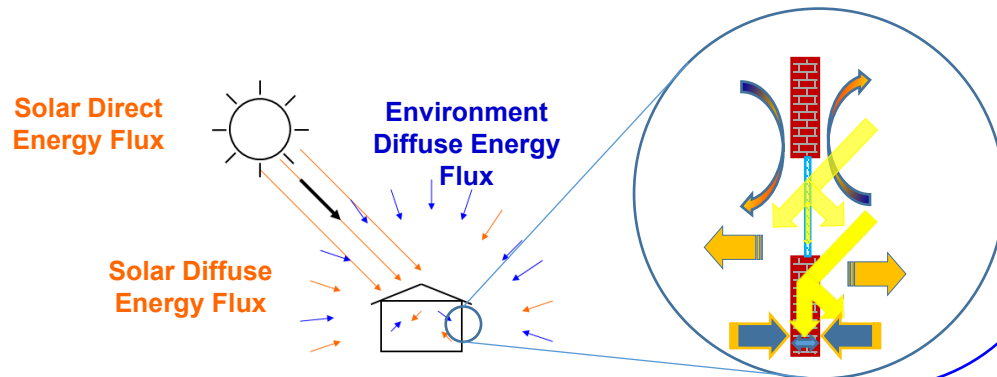


CFD Modelo 2-3: COSMO TRL 5-6

Modelo físico:

- ❑ Simulaciones NO estacionarias (TS = 1 s + 1 II)
- ❑ Modelo de turbulencia *URANS*:
Realizable K-ε Two-Layer All Y+ Model
- ❑ AIRE → GAS IDEAL + Propiedades Ctes.
- ❑ Emisiones:
 - ❑ Tráfico → *E* escalar pasivo
- ❑ Modelo de Radiación S2S:
+ *Solar Model*
- ❑ Transferencia de calor conjunta:
air interior – **envolvente de los edificios** – aire exterior

Almacenamiento térmico en suelo, muros y cubiertas



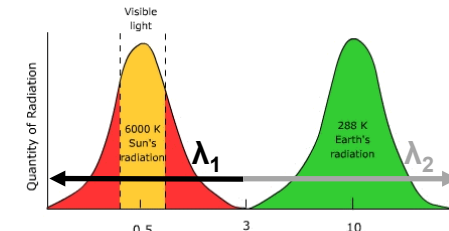
❑ Propiedades térmicas:

Materials	ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	C_p ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	κ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	μ (Pa·s)	β (K^{-1})
AIR	1.18	$1.00\cdot 10^3$	$2.60\cdot 10^{-2}$	$1.86\cdot 10^{-5}$	1/T
BRICK	$2.65\cdot 10^3$	$9.60\cdot 10^2$	1.00	–	–
GLASS	0.00	0.00	1.40	–	–

❑ Propiedades ópticas:

$$\lambda_1 = [10^2 - 3\cdot 10^3] \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = [3\cdot 10^3 - 10^5] \text{ nm}$$

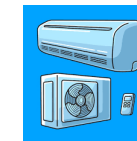


Materials	α	T	ε
BRICK*	0.1	0.0	0.9
COOL ROOF	0.9	0.0	0.9
GLASS	0.1 / 0.05	0.9 / 0.0	0.0 / 0.95

*Base case: Including walls, floor and standard roof.

NO calor del tráfico, personas, AC, etc.

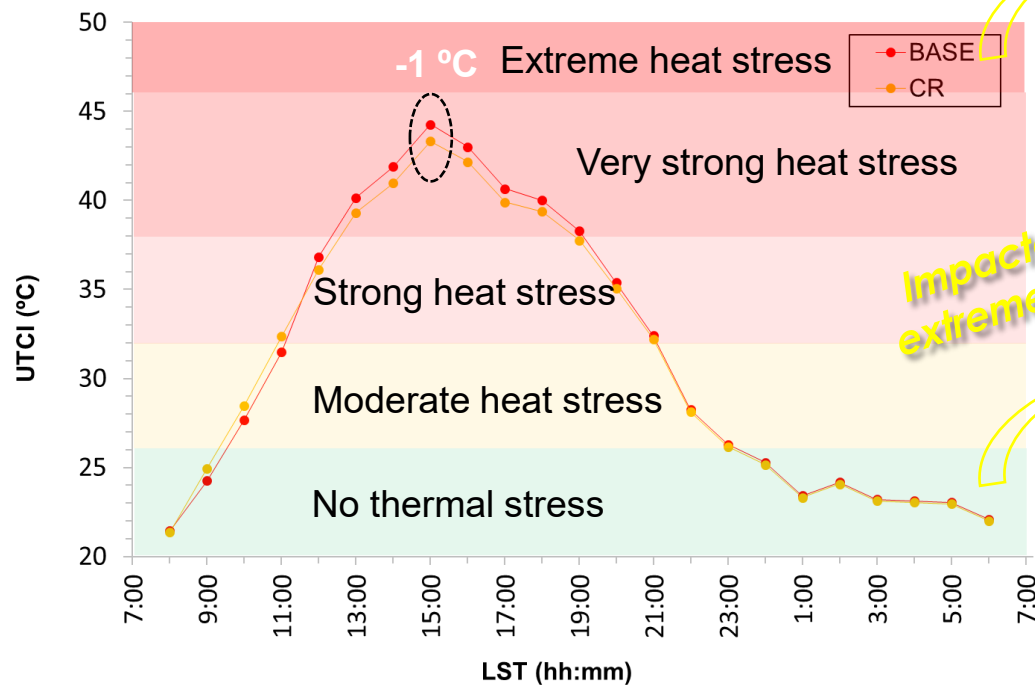
NO química atmosférica



4. Impacto de las propiedades ópticas de las superficies en el UTCI a nivel de peatón:

Albedo α : Tejado convencional $\alpha = 0,1$ vs. Tejado frío $\alpha = 0,9$

1st cycle.



Impacto en el mapa de UTCI a las 15 LST

Impacto en el mapa de extreme heat stress a las 15 LST

