

VII CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CLIMATOLOGÍA

CLIMA, CIUDAD Y ECOSISTEMAS

Cambio climático e impacto en países ibéricos e iberoamericanos



Salón de Actos del Edificio del Rectorado
Universidad Autónoma de Madrid

24-26 noviembre 2010

La asociación al Congreso se constituirá por 2 millones de Euros el día 10

Organizan:

Colaboran:

Una serie de logos de los organismos organizadores y colaboradores. Entre ellos se encuentran: REC, LAZ, FIL, ALMA, y otros logos institucionales.

CONFERENCIA

Viernes, 26 noviembre 2010

Modelización del clima urbano a mesoescala

Dr. Alberto Martilli. PhD por el Swiss Federal Institute of Technology of Lausanne. Investigador del CIEMAT

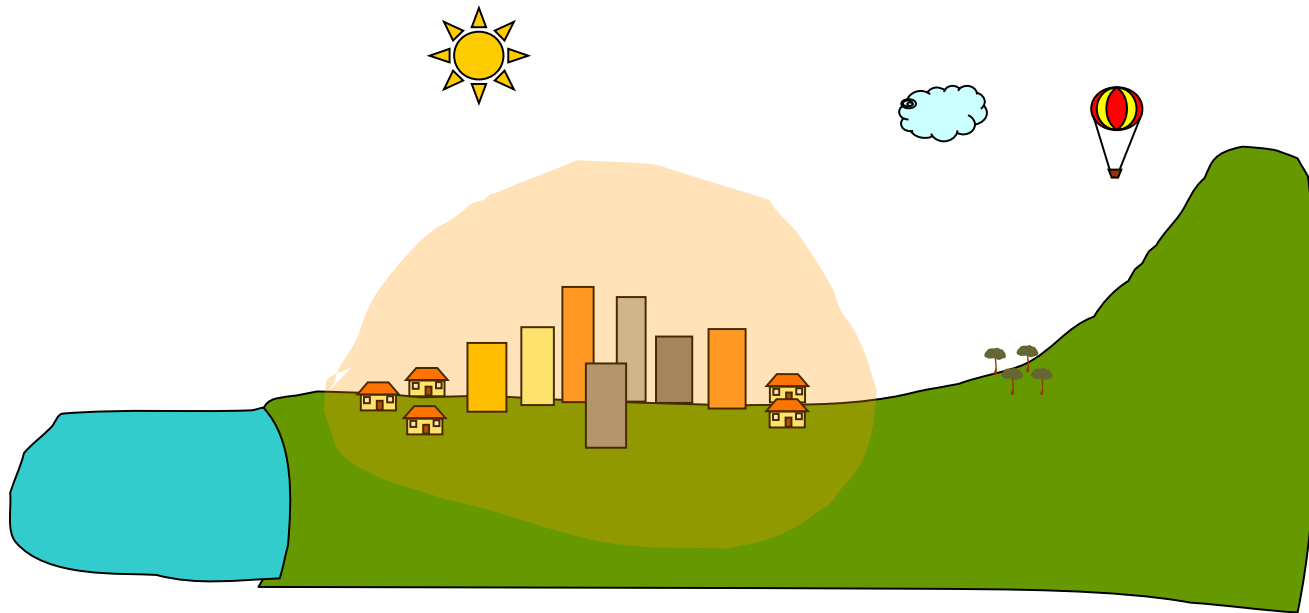
Modelización del clima urbano a mesoescala

Alberto Martilli, Francisco Salamanca
CIEMAT, España



*La ciudad ideal,
Piero della Francesca, c. 1470,
Galleria Nazionale, Urbino, Italia*

El clima urbano es determinado por factores a grande escala (regional o mayor)

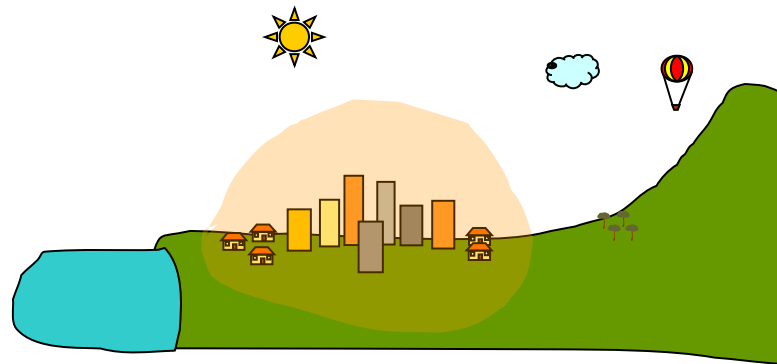


y factores a escala urbana.

Factores a escala urbana que influyen en el clima urbano



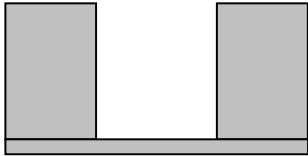
Escasa vegetación



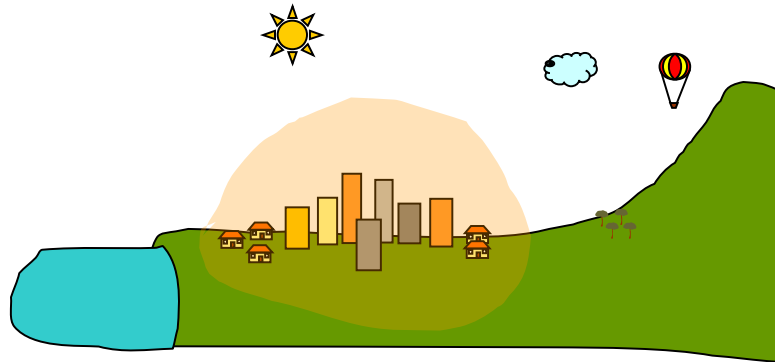
Factores a escala urbana que influyen en el clima urbano



Escasa vegetación



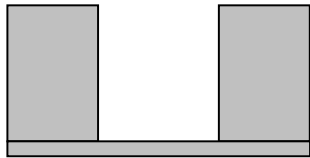
Materiales de construcción



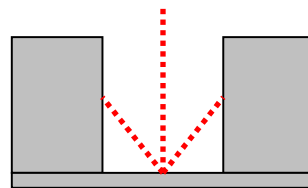
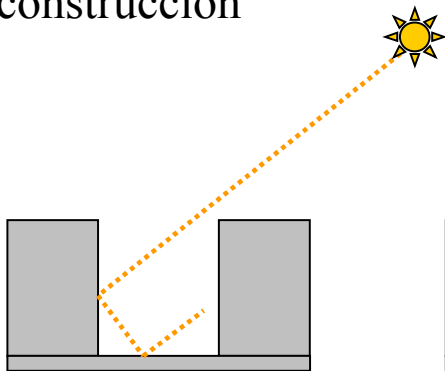
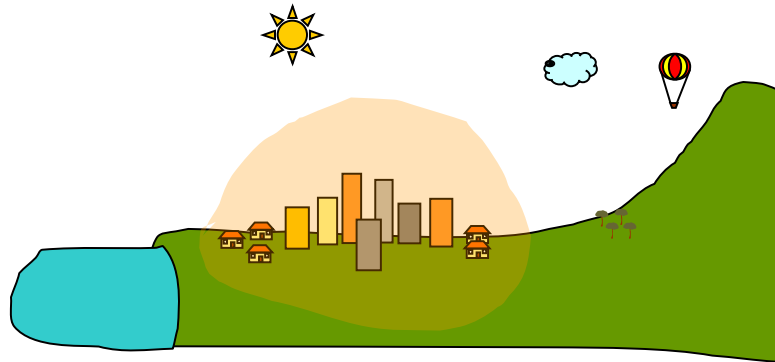
Factores a escala urbana que influyen en el clima urbano



Escasa vegetación



Materiales de construcción

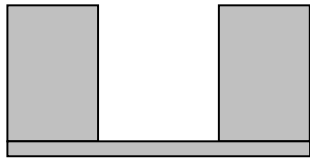


Orientación de las superficies

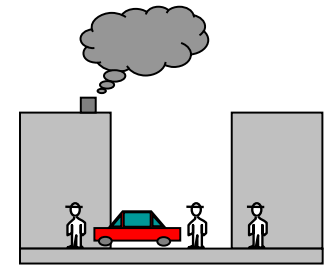
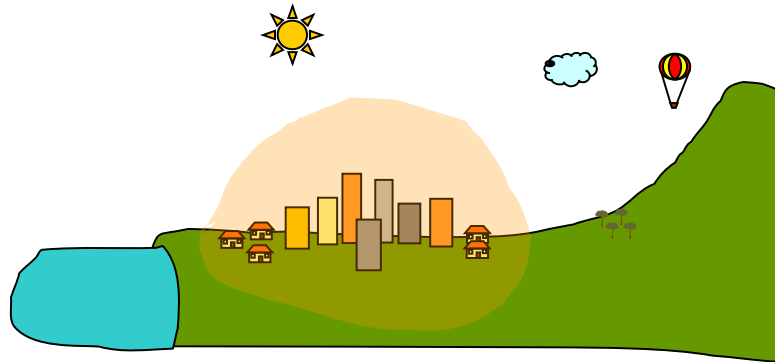
Factores a escala urbana que influyen en el clima urbano



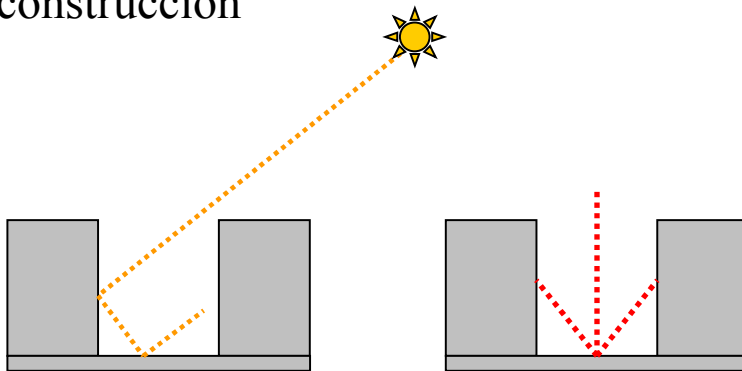
Escasa vegetación



Materiales de construcción

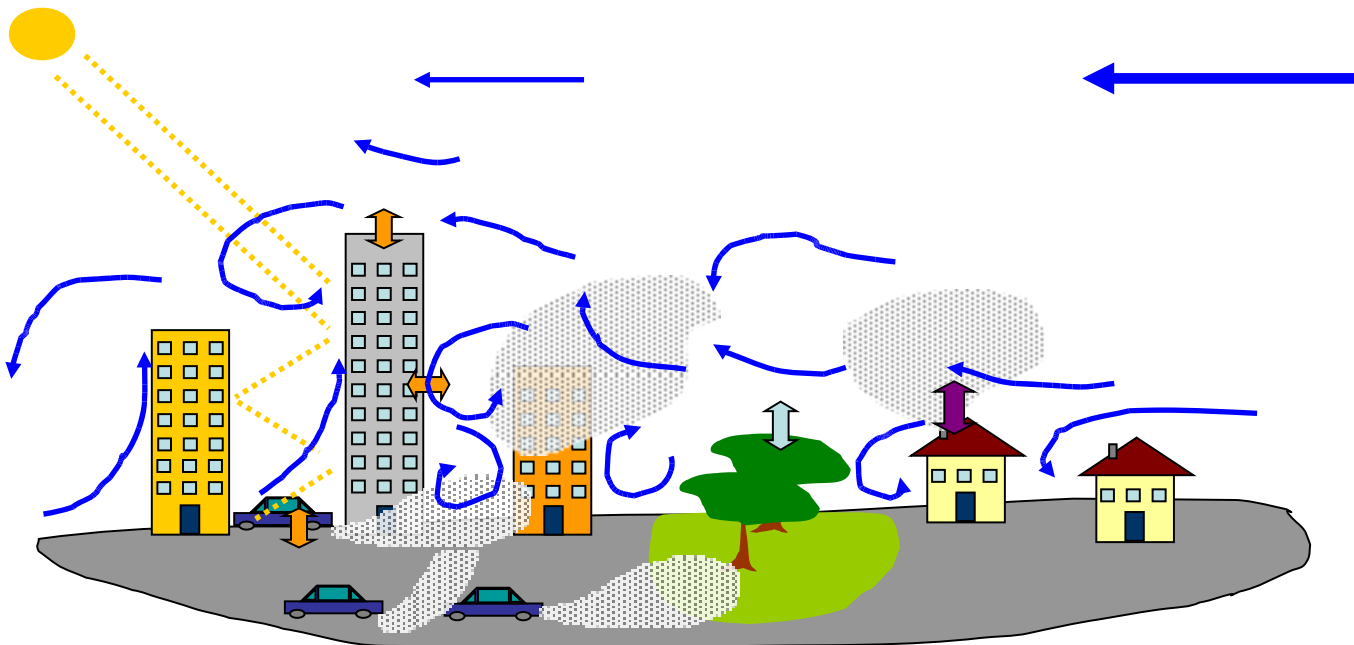
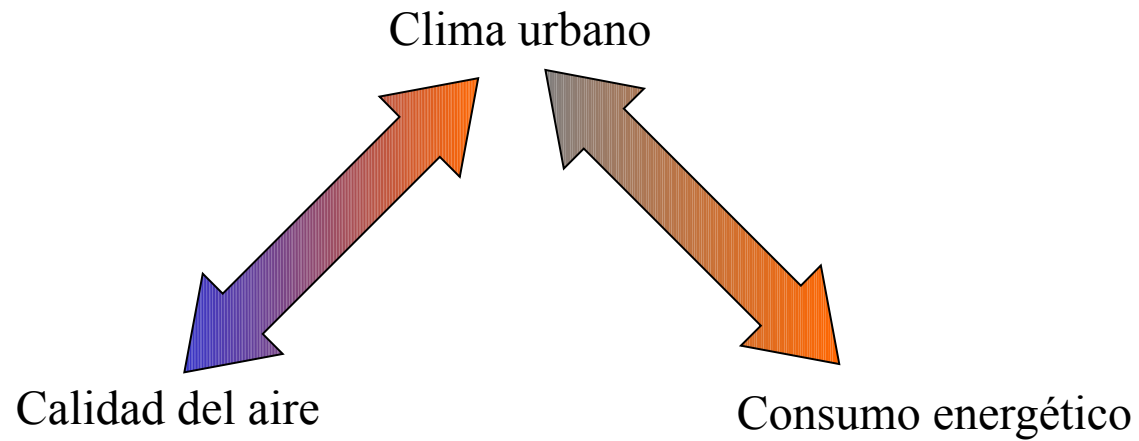


Calor antropogénico

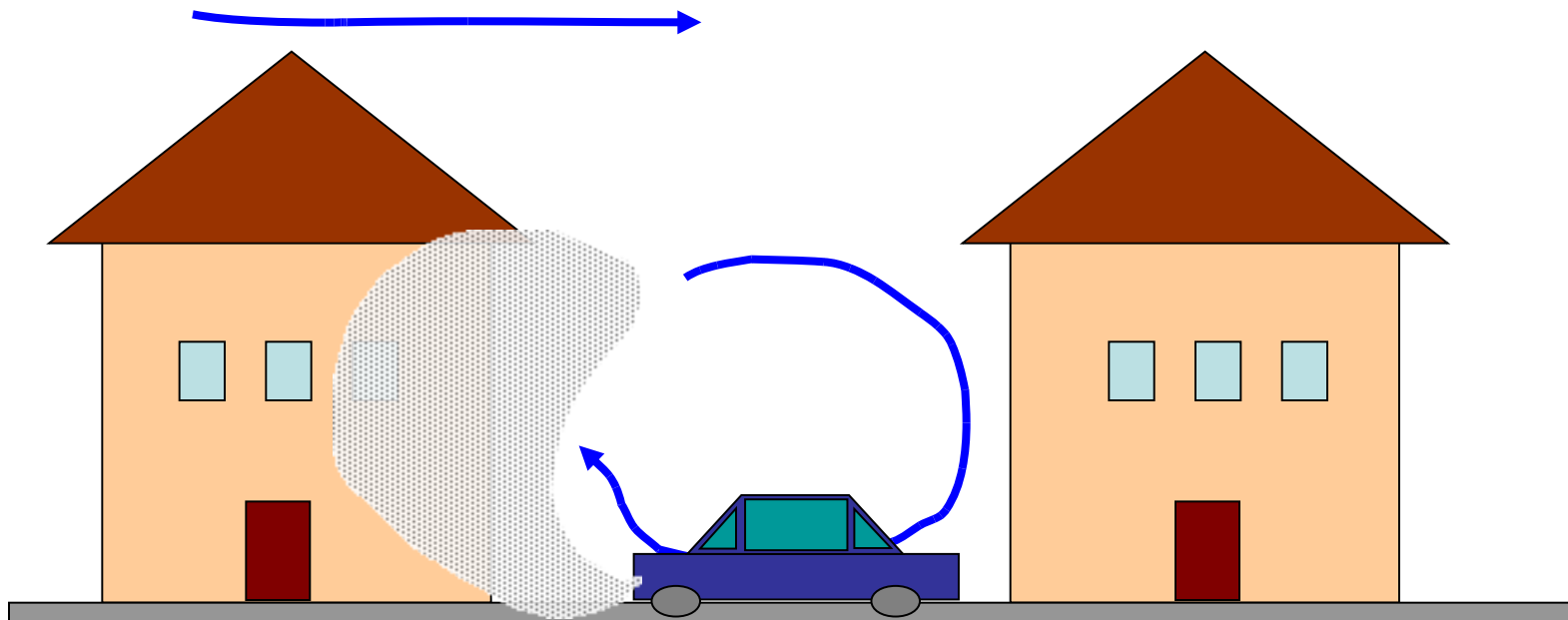


Orientación de las superficies

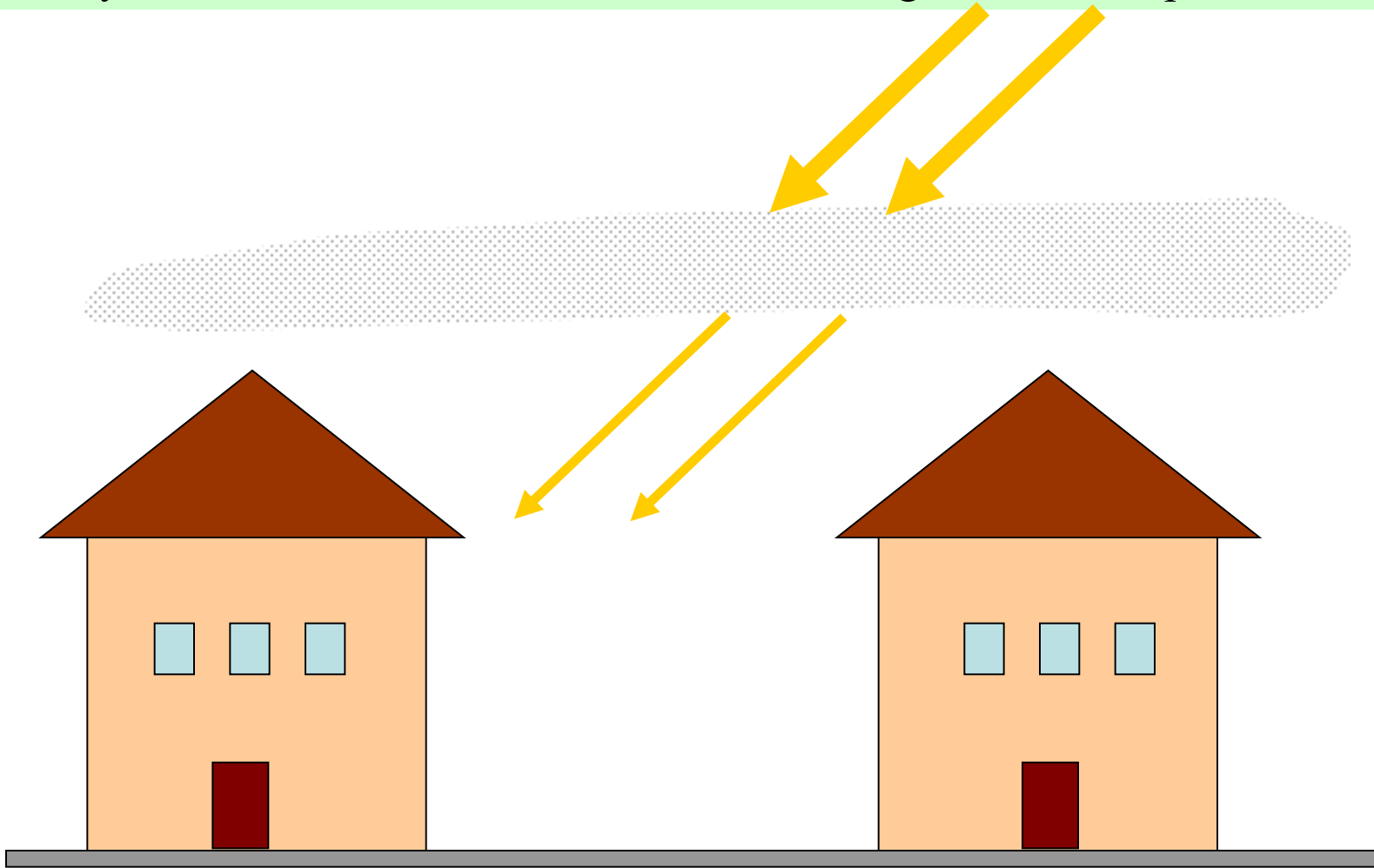
El clima urbano interactúa con otros fenómenos



Los flujos de calor que afectan el clima urbano, influyen también la estructura de la capa límite atmosférica. La dispersión de los contaminantes depende de ésta.

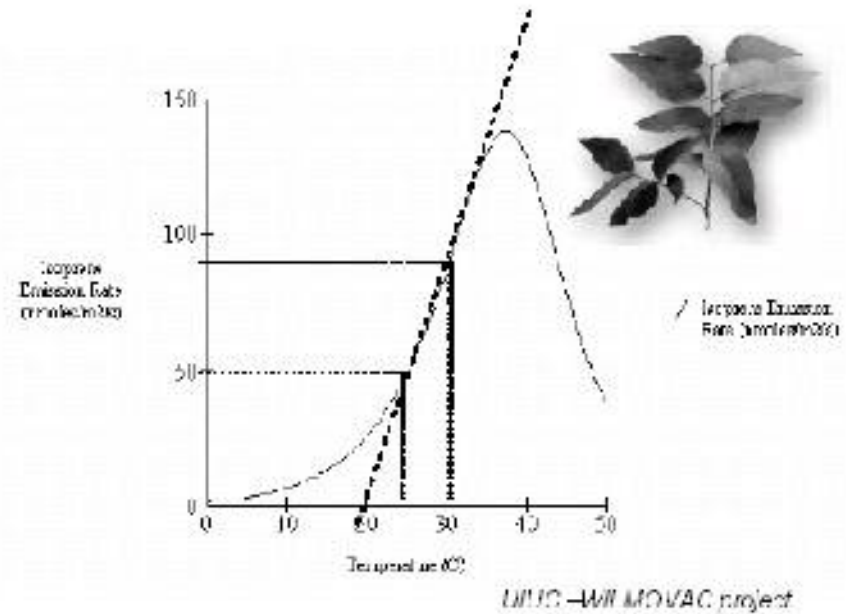


La concentración de los contaminantes (e. g. aerosoles) tiene un impacto sobre la radiación y, consecuentemente, sobre el balance energético en la superficie.



Las emisiones dependen de la temperatura

Emisiones biogénicas

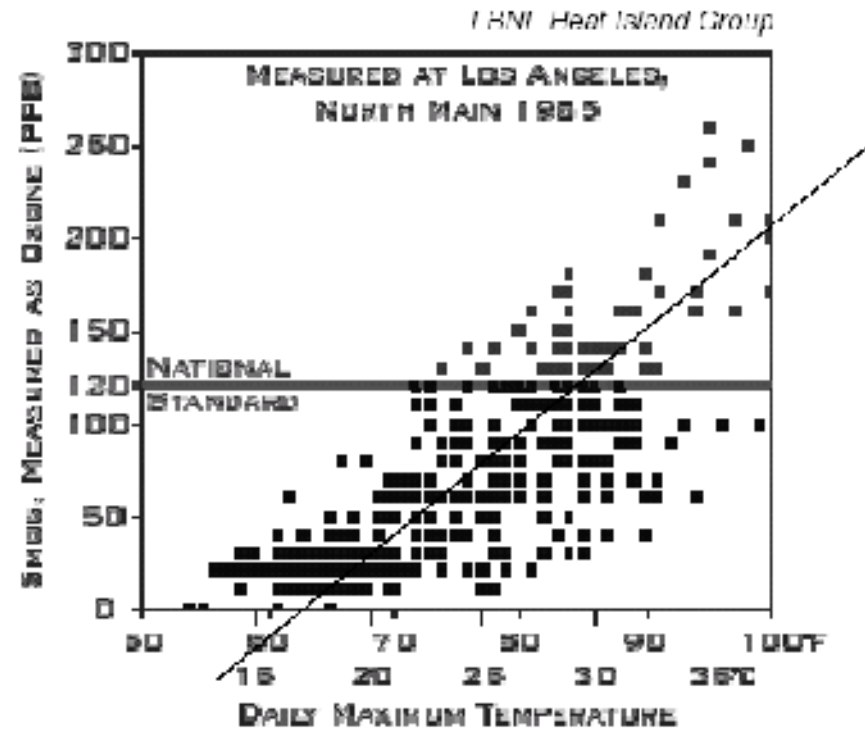


Emisiones antrópicas:

Por ejemplo, las emisiones de tráfico dependen de la temperatura.

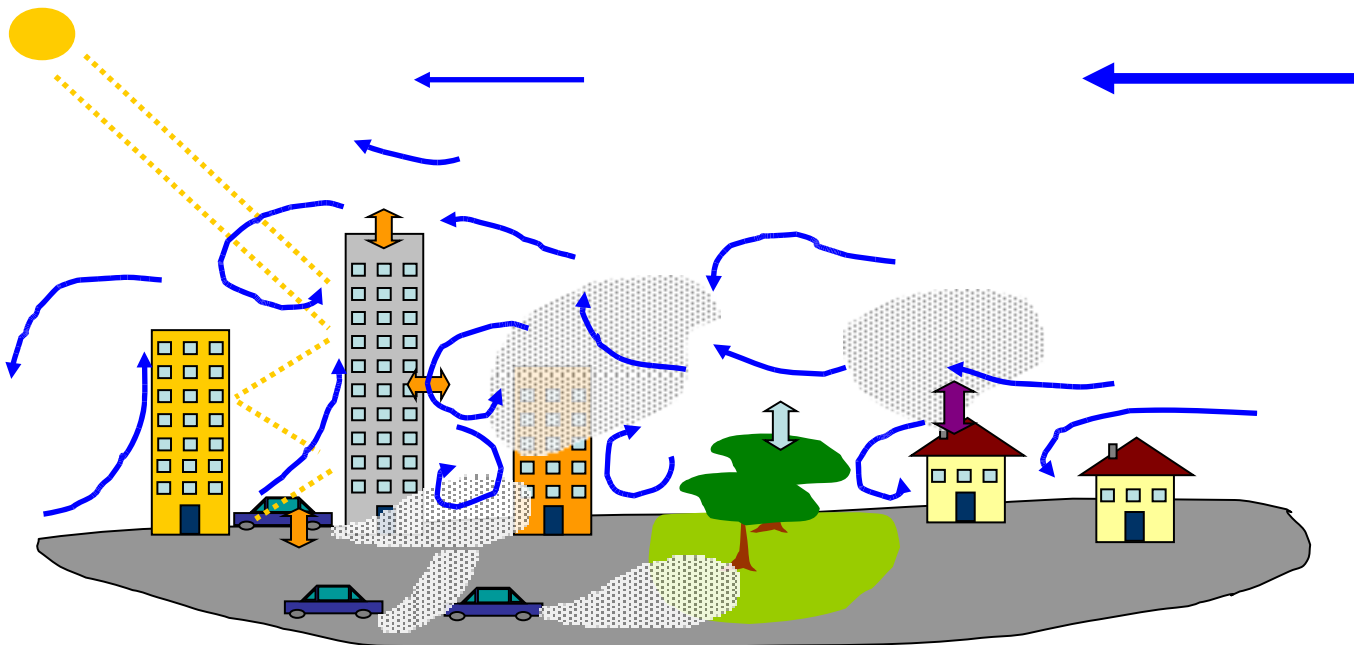
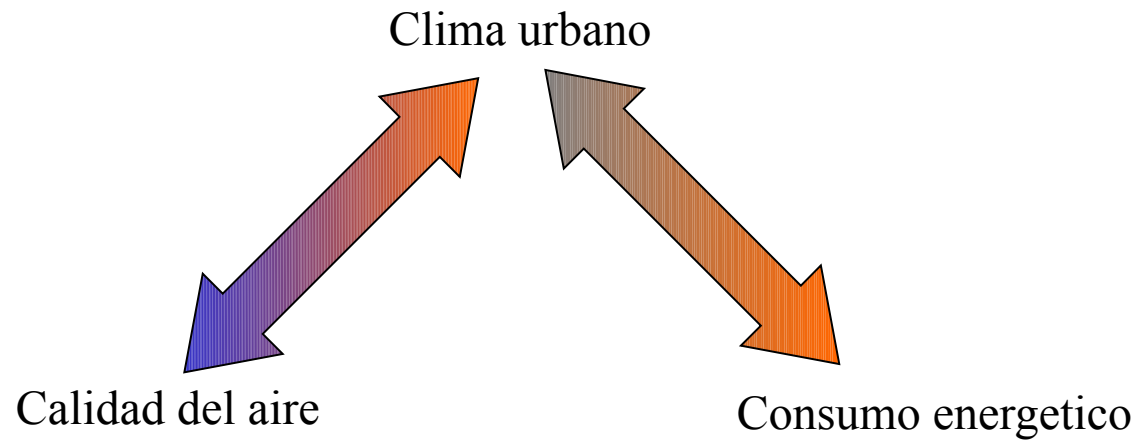


La temperatura tiene un impacto sobre las constantes de reacción química

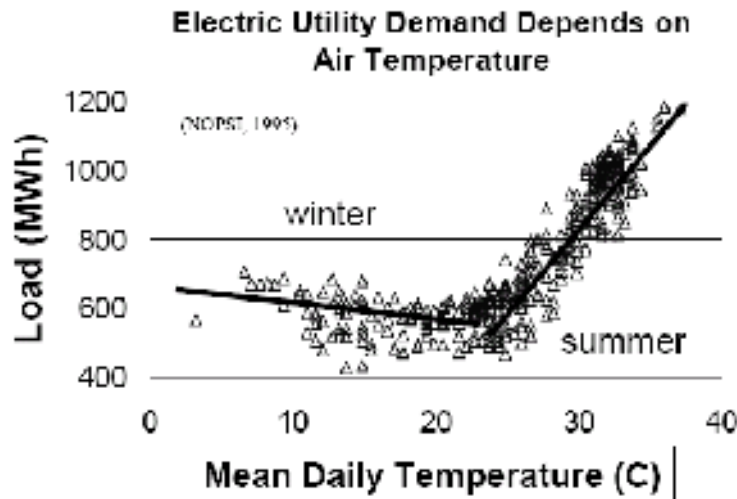


On hot summer days peak ozone concentration increases by 2 to 4% for each degree C increase in air temperature.

El clima urbano interactúa con otros fenómenos

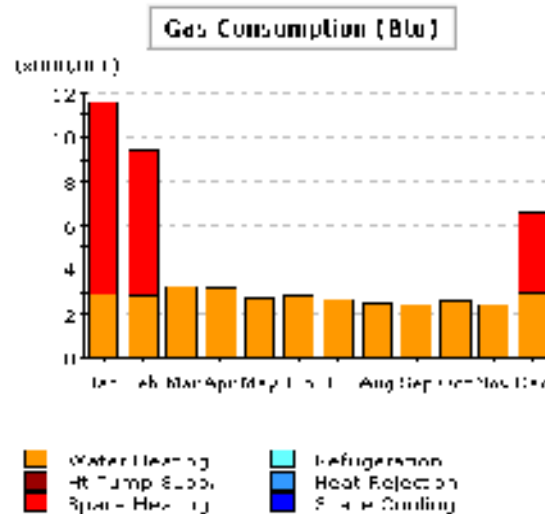
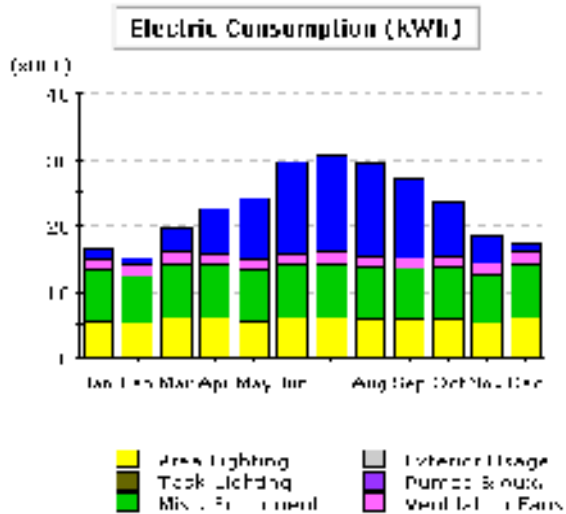


Parte del consumo energético depende del clima urbano.



En base anual y a nivel de todos los EEUU, el 50% del consumo energético de los edificios corresponde a calefacción y aire acondicionado.

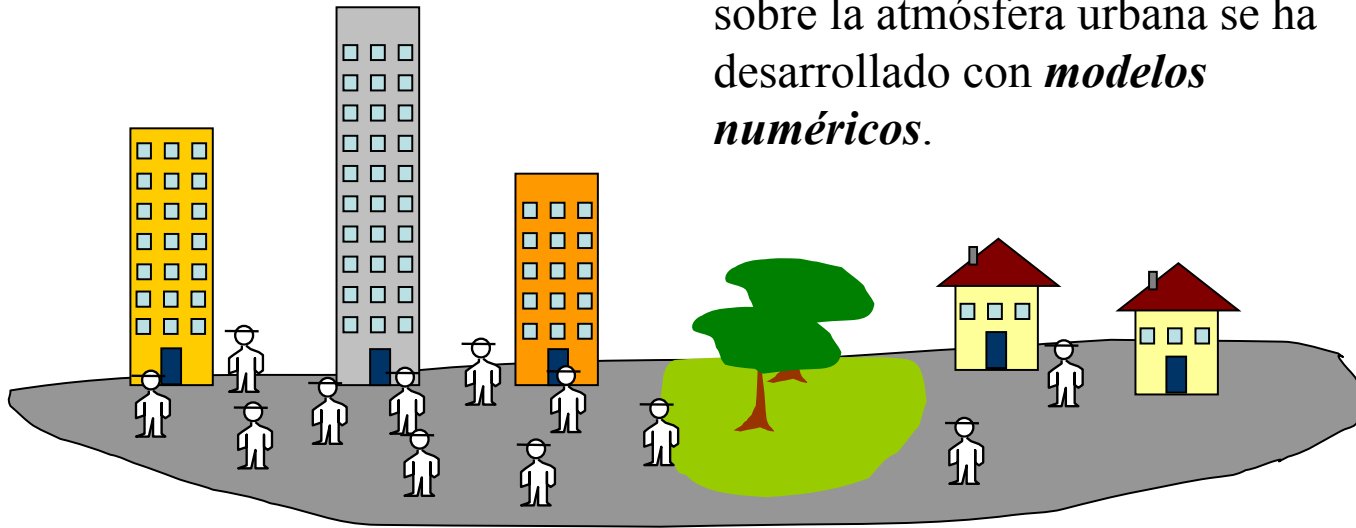
Houston



Calentamiento global

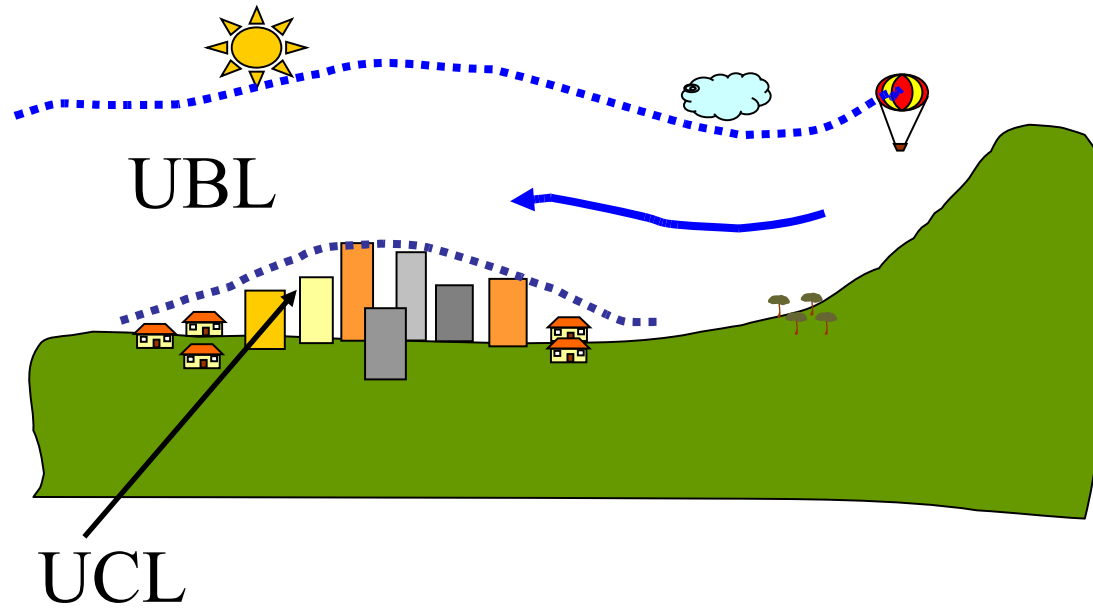
Todos estos fenómenos son el resultado de la actividad humana. Se pueden controlar o modificar.

Una gran parte de la investigación sobre la atmósfera urbana se ha desarrollado con *modelos numéricos*.

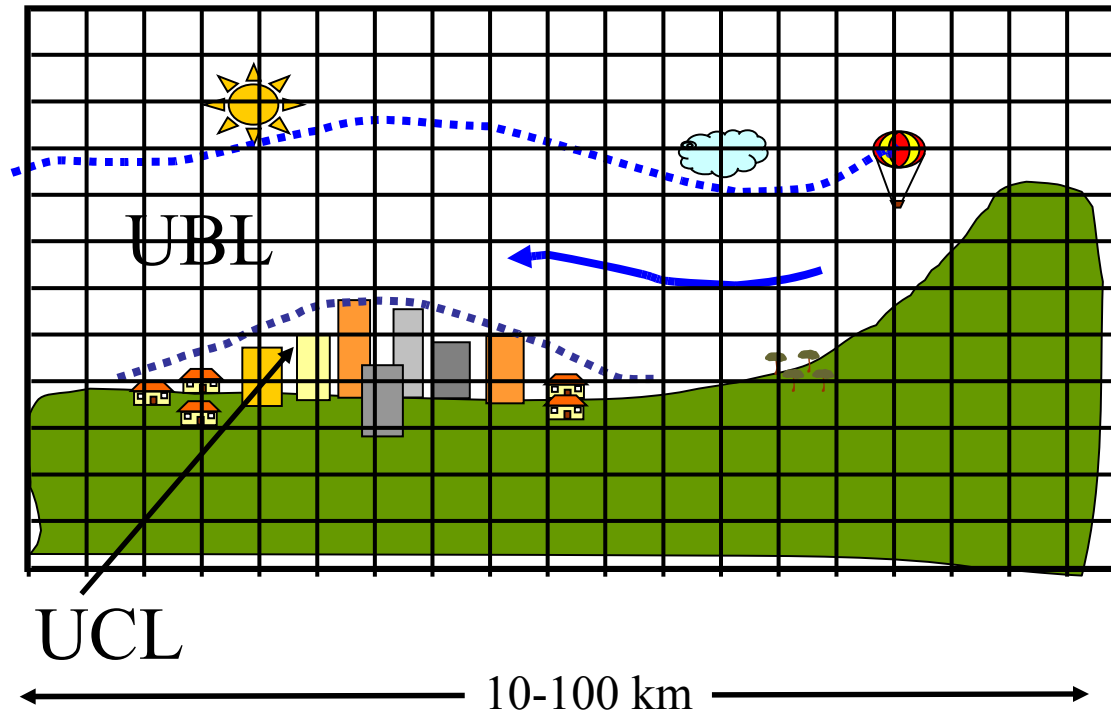


Además de ser una herramienta para mejorar la comprensión de los fenómenos, los modelos permiten analizar posibles escenarios futuros. De esta manera se puede elegir la mejor manera de controlar y modificar la atmósfera urbana.

¿ Qué tipo de modelos se utilizan ?



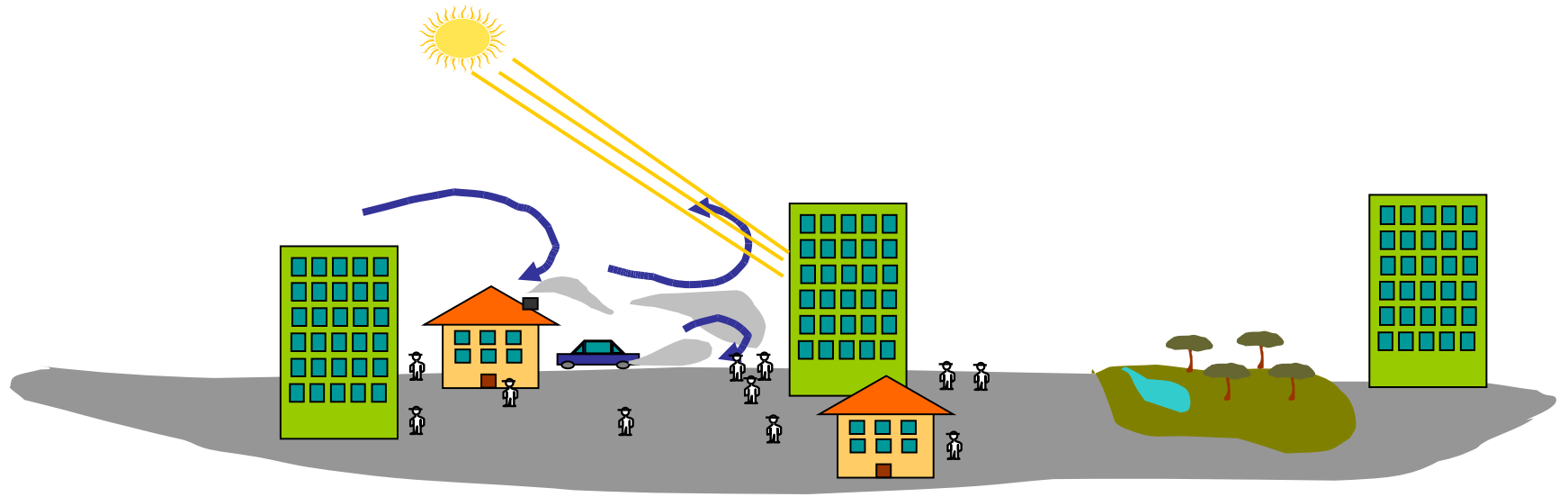
¿ Qué tipo de modelos se utilizan ?



Modelos de mesoescala

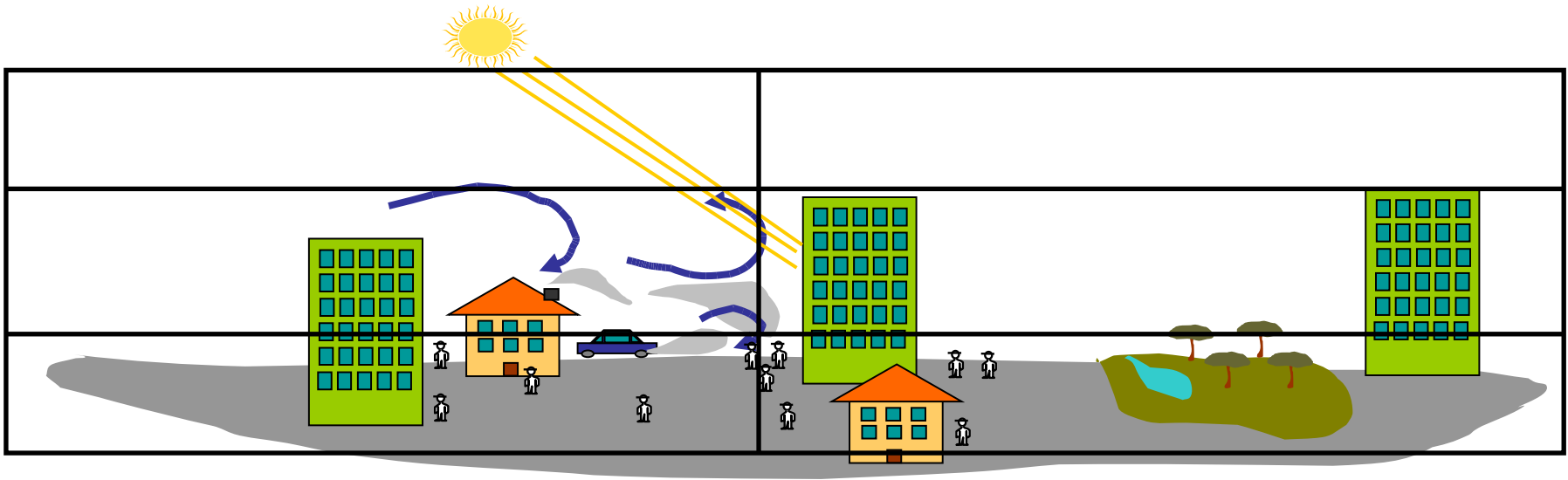
Áreas urbanas son muy complejas

La escala espacial de las heterogeneidades es de pocos metros



Áreas urbanas son muy complejas

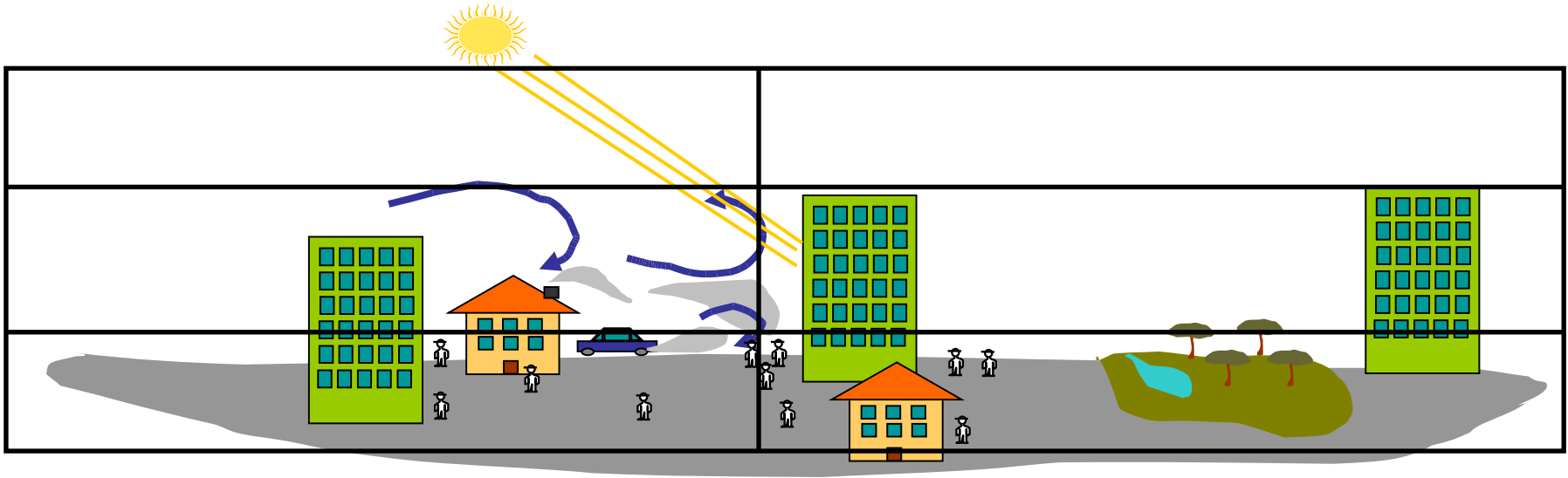
La escala espacial de las heterogeneidades es de pocos metros



La resolución de un modelo de mesoscala es del orden de 1 km.

Áreas urbanas son muy complejas

La escala espacial de las heterogeneidades es de pocos metros



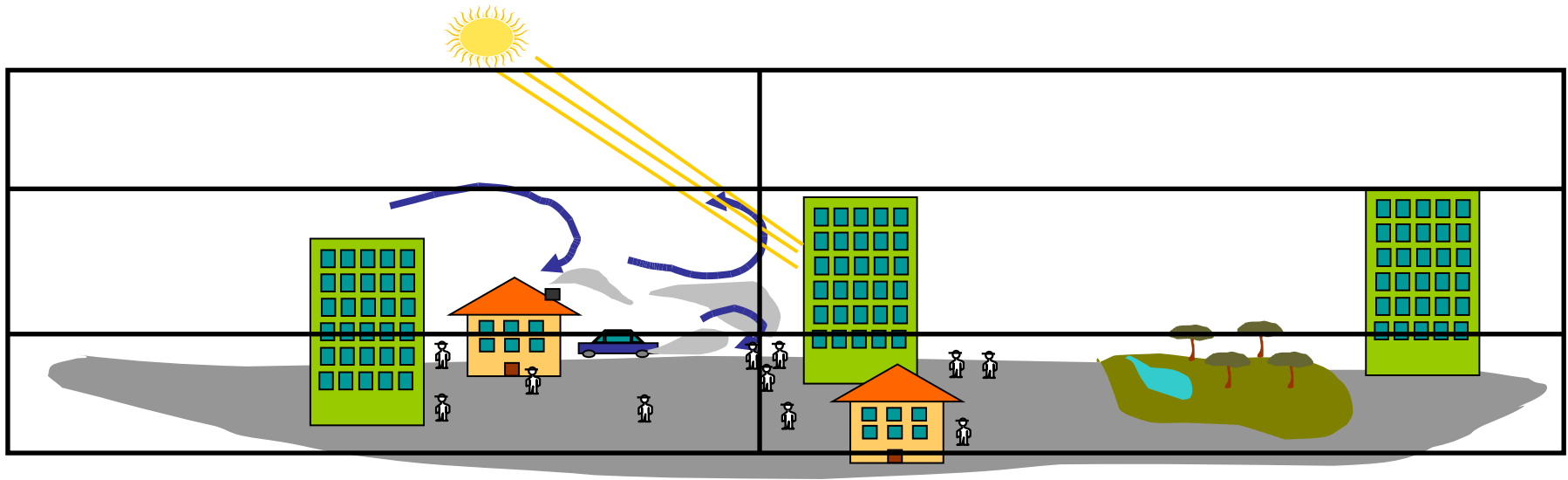
La resolución de un modelo de mesoscala es del orden de 1 km.

¿Cómo modelizar los efectos producidos por las heterogeneidades urbanas con esta resolución?



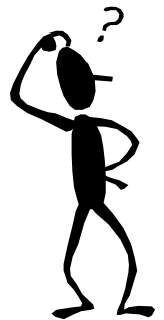
Áreas urbanas son muy complejas

La escala espacial de las heterogeneidades es de pocos metros



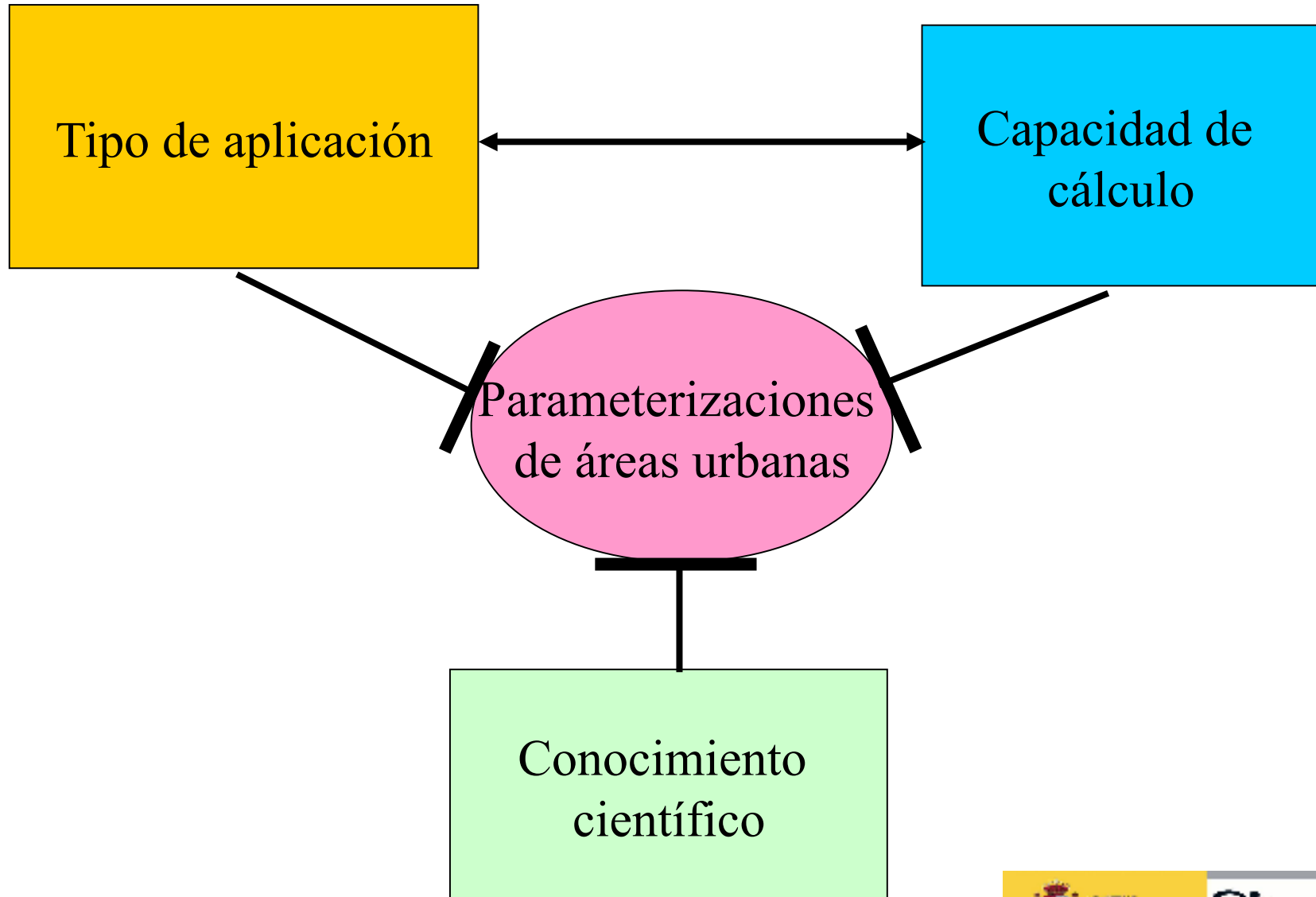
La resolución de un modelo de mesoscala es del orden de 1 km.

¿Como modelizar los efectos producidos por las heterogeneidades urbanas con esta resolución?

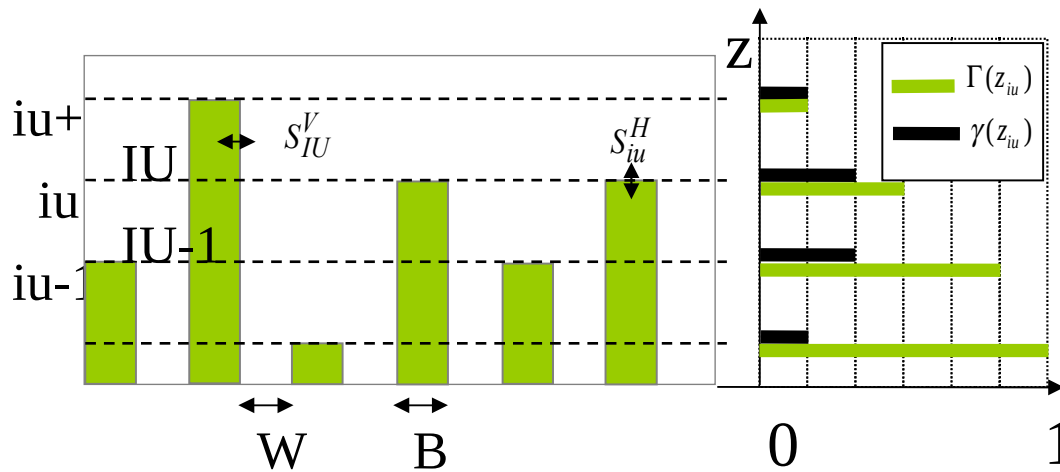
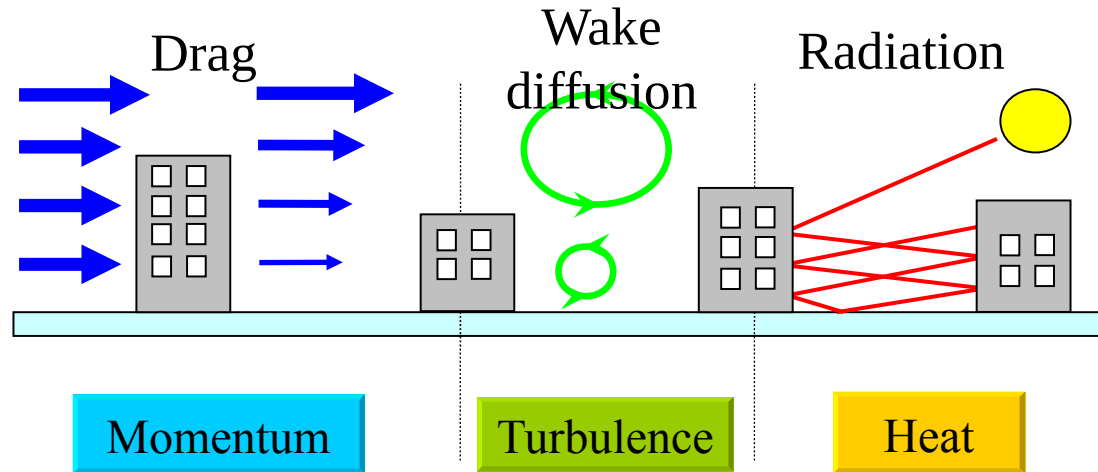


Es necesaria una parametrización

Factores que influyen en la manera de representar el impacto de las superficies urbanas en los modelos de mesoescala.

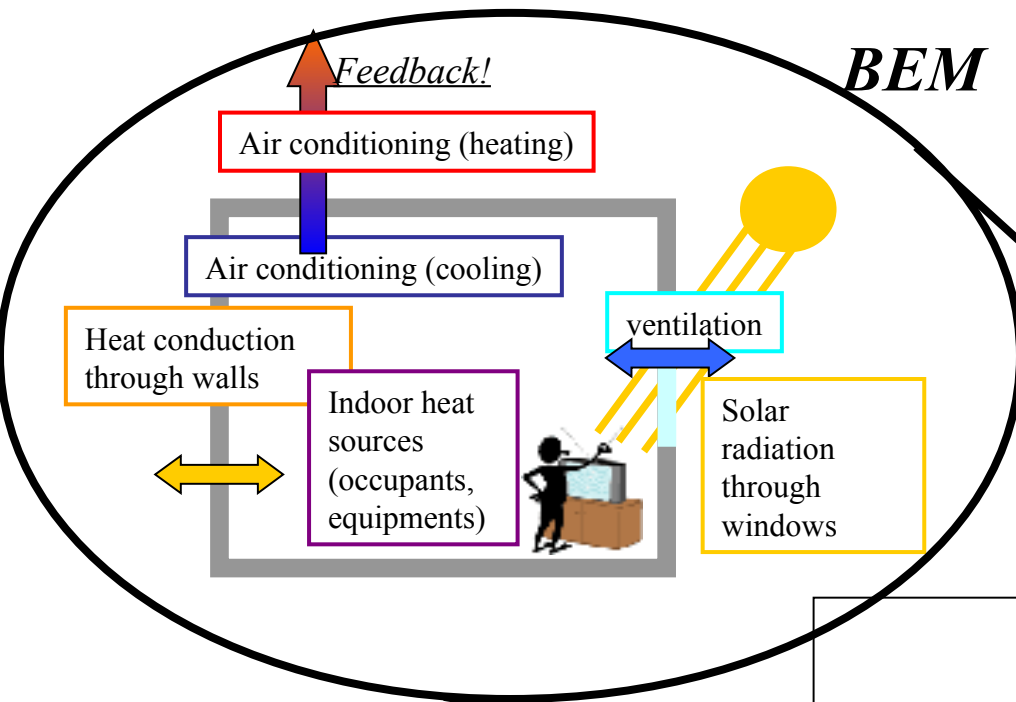


BEP (Building Effect Parameterization, *Martilli et al., Boundary-Layer Meteorology*, 2002)



Parameterización de la turbulencia de Bougeault and Lacarrere, (1989)

Un modelo de energética de los edificios (BEM) conectado a una parametrización urbana (BEP).

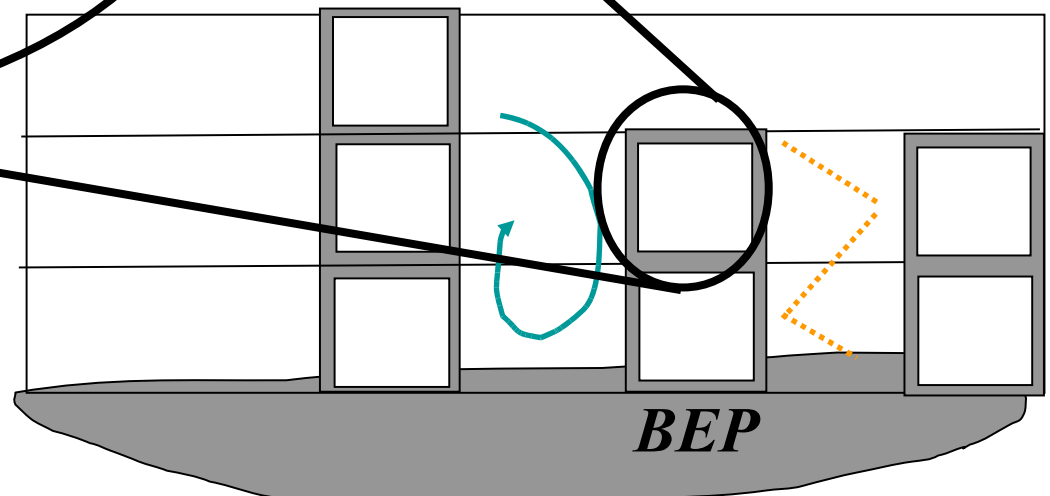


(Salamanca et al., *Theoretical and Applied Climatology*, 2010)

Mejorar la estimación de los flujos de calor antropogénico.

Estimar el consumo energético relacionado a la meteorología (aire acondicionado, calefacción).

Edificio idealizado



Futuro: Estimar ventilación. Intercambios de contaminantes entre interior y exterior de edificios. Conexión con contaminación “indoor”.

¿Se puede simular el clima urbano?

¿Como el calor antropogénico de los aires acondicionados afecta al clima urbano?

¿Se puede estimar el consumo energético?

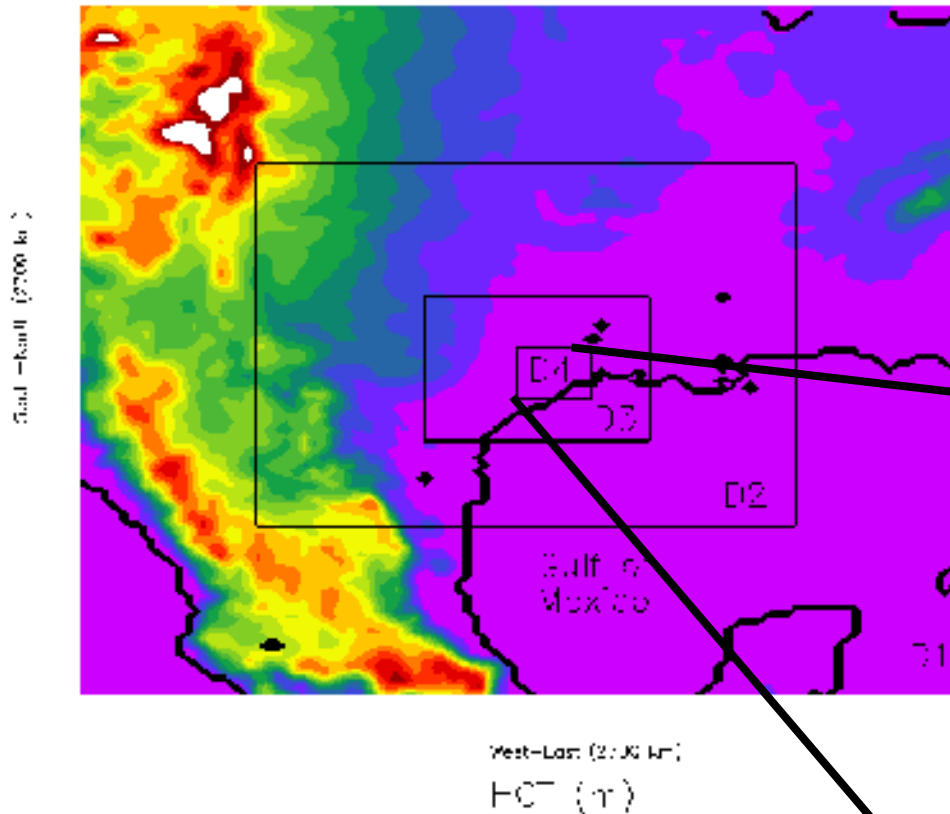


Una ciudad Norte Americana:
El caso de Houston, Texas



*Salamanca et al. Journal of
Applied Meteorology, in
press.*

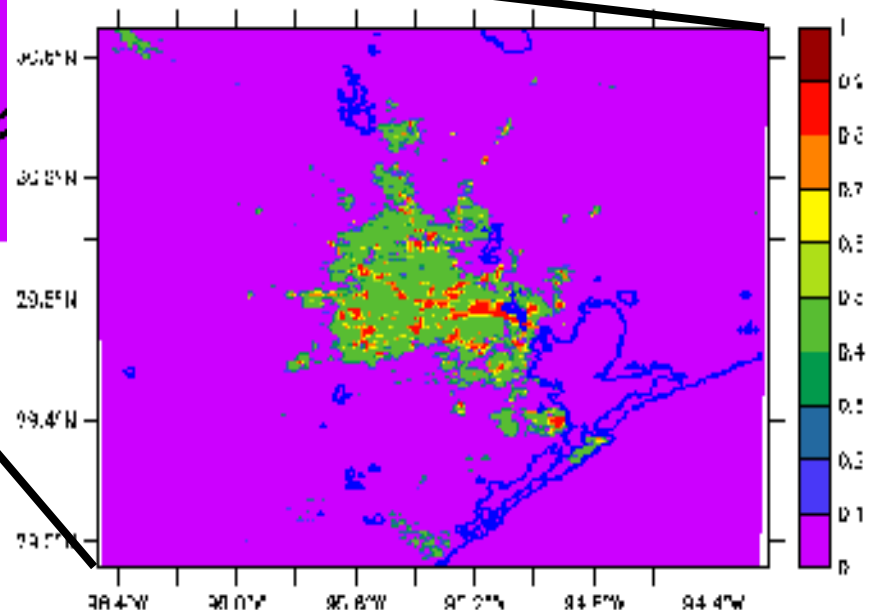
Simulaciones con WRF acoplado con parametrización urbana (BEP) y modelo de energética de los edificios (BEM).



25 y 31 Agosto 2000,

Cuatro dominios “two-way”
anidados con resolución de 27,
9, 3 and 1 km respectively.

Fracción Urbana



Información detallada sobre morfología urbana (NUDAPT)

Comparación con medidas

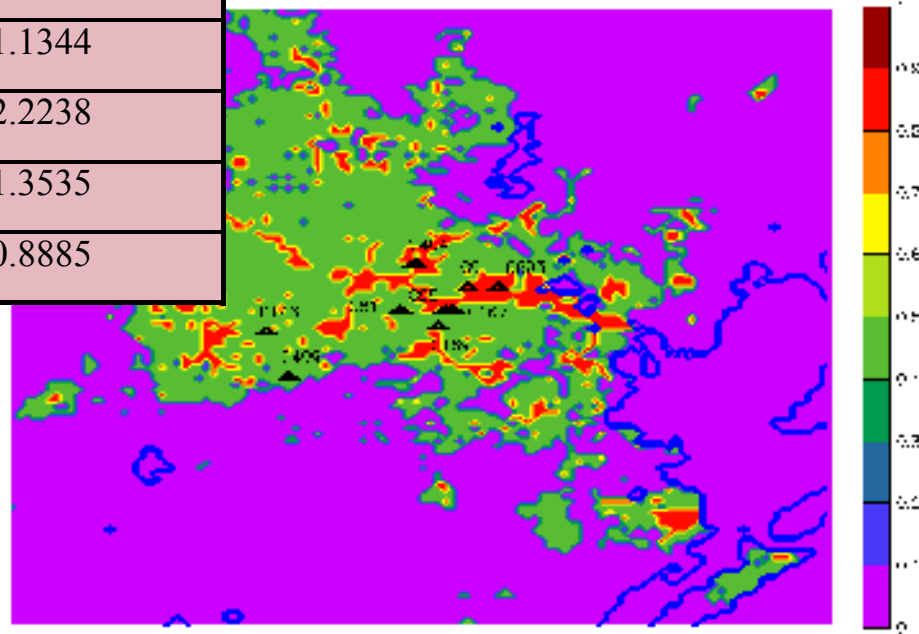
31st Aug.

25th Aug.

RMSE temperatura a 2m

Station ID	BEP	BEP+BEM	BEP	BEP+BEM
C01	1.7177	1.2112	1.3012	0.9174
C55	2.0046	1.5049	1.9029	1.4190
C81	2.0344	1.3927	1.7794	1.2975
C146	1.6357	1.2688	1.2510	0.8454
C167	1.6067	1.1472	2.4667	1.8656
C169	1.3515	1.1006	1.2407	1.1344
C404	3.3670	2.2620	2.9407	2.2238
C409	1.8077	1.6253	1.6861	1.3535
C603	1.6225	0.9693	1.5736	0.8885

RMSE (°C)



West (km) (10 km)

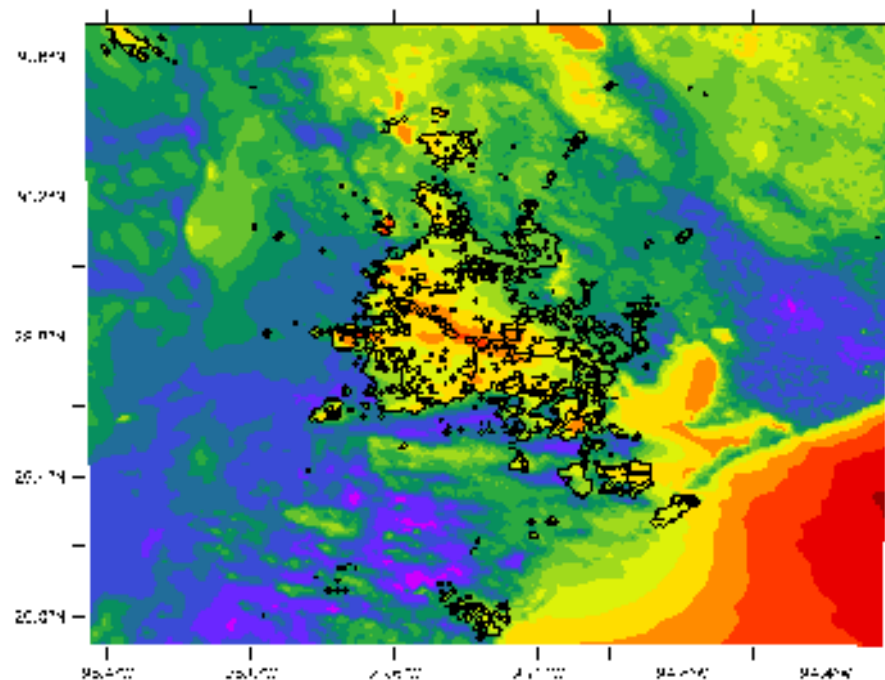
Monitoring stations location

Isla de Calor Nocturna (0300LST)

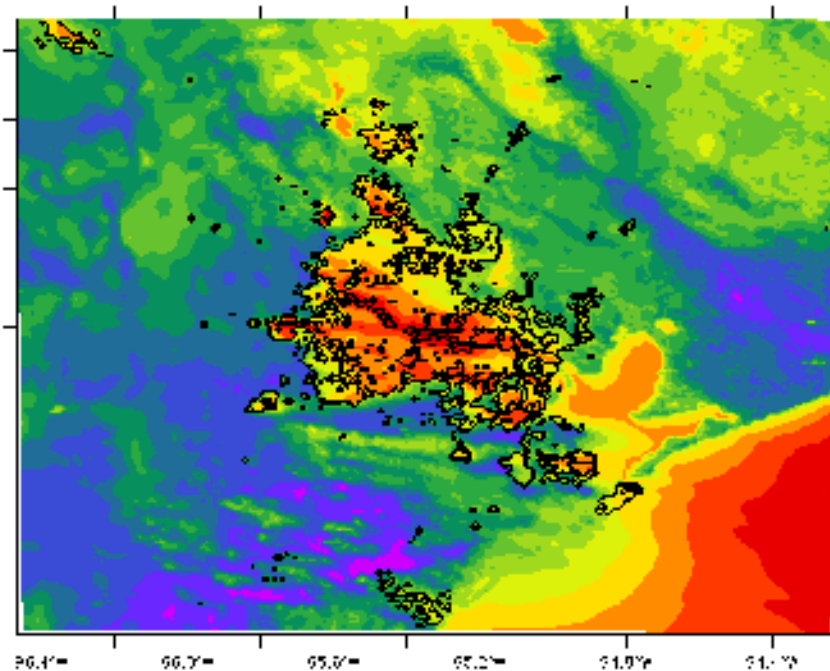
Temperatura de aire a 2m.

BEP

BEP+BEM



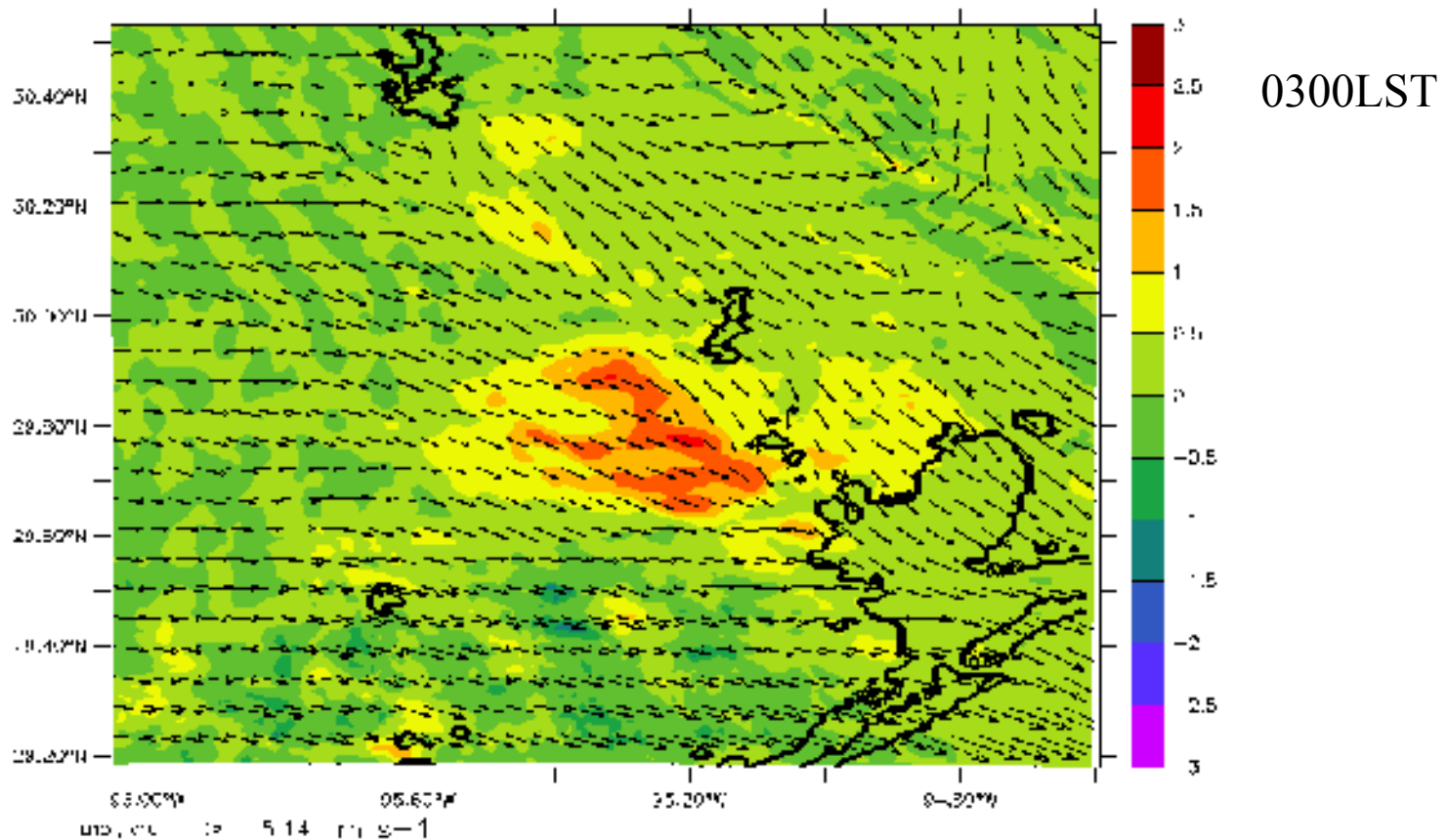
T2 at 0300 LST obtained with the BEP scheme



T2 at 0300 LST obtained with the BEP+BEM scheme

Impacto del calor antropogénico de sistemas de aire acondicionado.

Diferencia de temperatura a 2m entre simulación con flujos de calor de aire acondicionado y sin flujo de calor.



$T_2(A) - T_2(\text{no AI})$ at 0300 LST obtained with the RFP-RTM(NUBAFT) scheme

Consumo energético

WRF

Daily energy consumption in MWh	NUDAPT
25 th August	34946
31 st August	45058

Consumo energético por sistemas aire acondicionados

Heiple and Sailor, 2008

Top down	Bottom up
45853	45483

Consumo energético diario promedio en el mes de Agosto en los edificios debido a aires acondicionados, luces, agua, etc.

- La mitad del consumo anual de energía de los edificios de todos los EEUU es debido a aire acondicionado o calefacción (probablemente es un porcentaje mayor en verano en Houston).
- Heiple and Sailor 2008 usan valores climáticos estándar de temperatura (33 C max temp), pero el 31 de Agosto fue más caluroso (41 C max).

¿Se puede simular el clima urbano?

¿Cómo el calor antropogénico de aire acondicionado afecta al clima urbano?

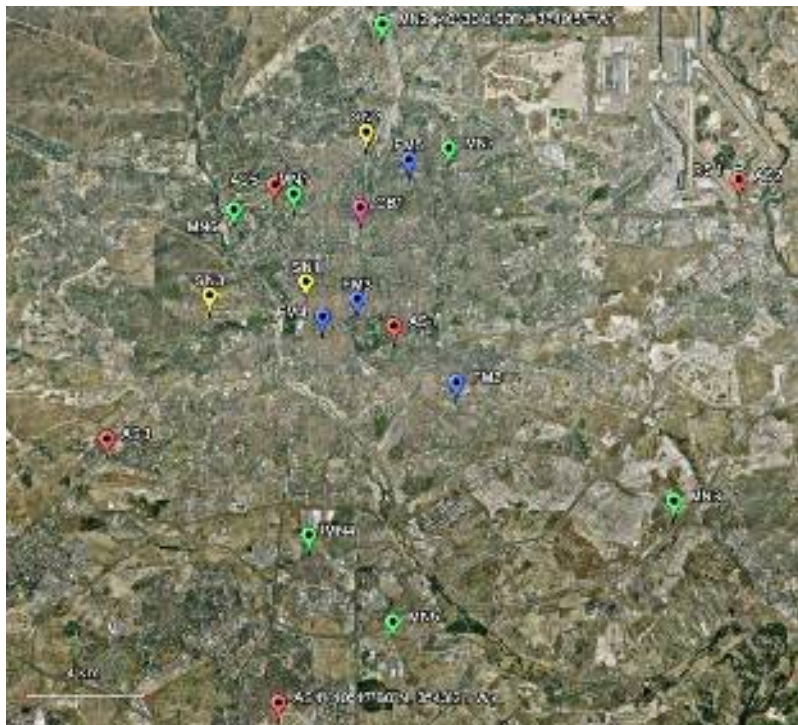
¿Y cómo se pueden evaluar estrategias de reducción de la Isla de calor urbana?



Una ciudad Europea:
El caso de Madrid



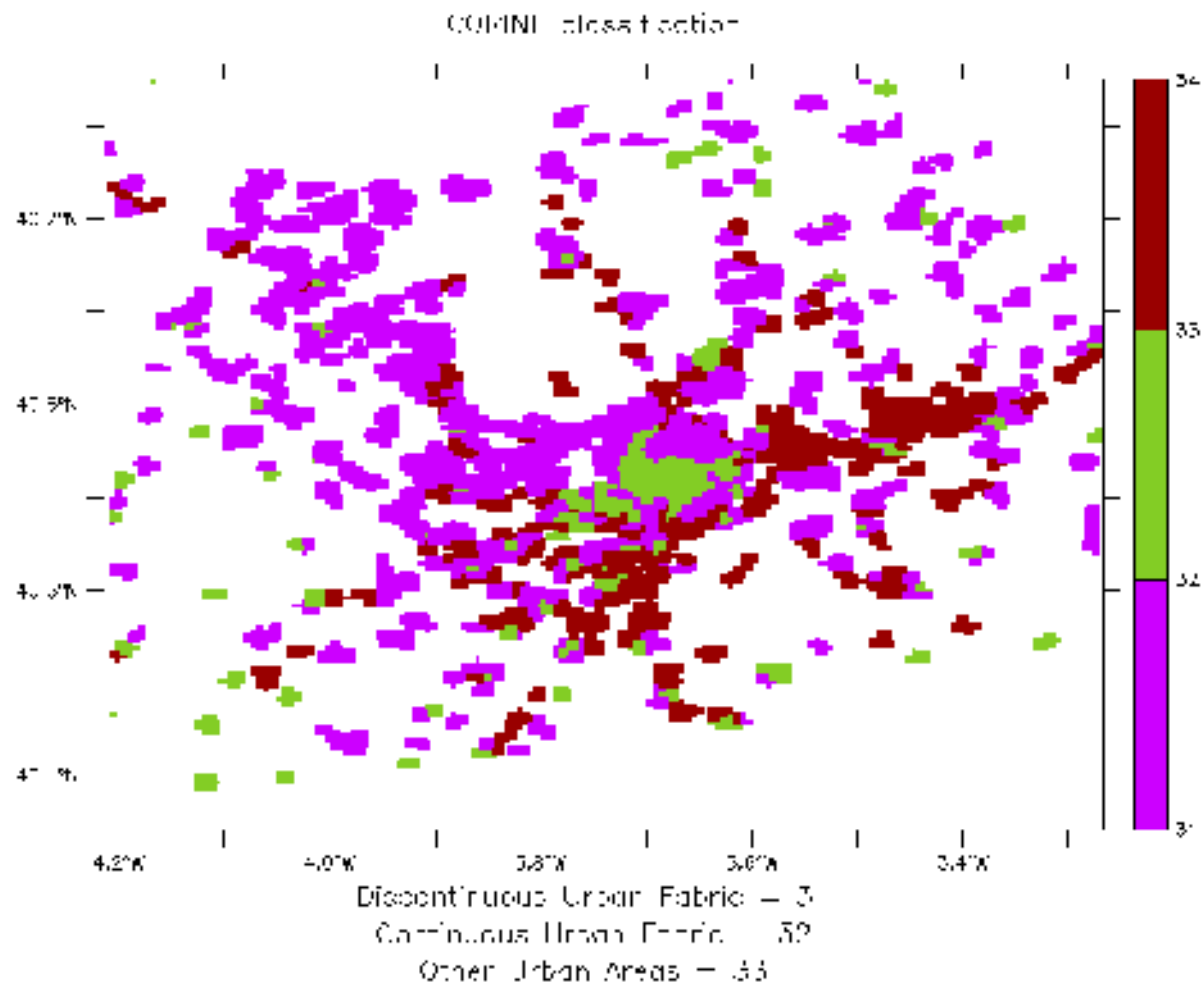
Simulaciones con WRF (BEP+BEM) para dos días de la campaña DESIREX (30 junio 1 Julio 2008)



Cinco dominios two-way nested con resolución de 27, 9, 3, 1 y 0.333 km respectivamente.

Resolución vertical de 51 niveles - 33 hasta 1500m, con el mas bajo a 10m sobre el suelo aproximativamente.

Comparaciones entre simulaciones con BEP+BEM con flujo de calor por aire acondicionados (AC) y sin flujo de calor (no AC).



DUF → discontinuous urban fabric, 423.67 km²

CUF → continuous urban fabric, 102.42 km²

OUA → other urban areas, 177.89 km²

RMSE and MB

Stations	ID	URBAN CLASS	RMSE (AC) (°C)	RMSE(no AC) (°C)	MB (AC) (°C)	MB (no AC) (°C)
Meteorological network	MN1	CUF	1.2143	1.4217	0.5549	1.0060
	MN2	OUA	1.0897	1.0400	-0.2992	-0.0337
	MN3	RURAL	1.7540	1.7189	-0.2354	-0.0626
	MN4	DUF	1.1519	1.4731	0.2669	0.7122
	MN5	RURAL	1.6381	1.9070	1.2229	1.5207
	MN6	DUF	3.3073	3.1349	-1.0998	-0.7470
	MN7	DUF	1.1663	1.1922	-0.1058	0.2188
Surveillance network	SN1	CUF	1.6905	2.0701	1.3853	1.8048
	SN2	DUF	2.0920	2.4221	1.8420	2.2263
	SN3	RURAL	2.5123	2.8024	1.8254	2.1442
AEMET stations	AS1	CUF	1.4715	1.5695	0.2495	0.7490
	AS2	OUA	2.2554	2.2889	0.4038	1.0291
	AS3	DUF	1.8615	2.0555	1.0725	1.3692
	AS4	OUA	1.4939	1.7529	0.7420	1.1321
	AS5	DUF	2.0401	2.1397	0.2347	0.6571
	AS6	OUA	2.1216	1.6560	-0.9030	-0.3549
	AS7	OUA	1.3615	1.3067	0.8291	0.8354
Fixed masts	FM1	DUF	2.1332	2.0464	-0.1208	0.0335
	FM2	DUF	2.0561	2.4783	1.6459	2.1508
	FM3	CUF	2.1716	2.6668	1.9964	2.4688
	FM4	CUF	1.4634	1.9034	0.9028	1.4928
	FM5	DUF	1.4838	1.6885	1.0734	1.3708

Blue values represent an improvement of the results, Red values the opposite

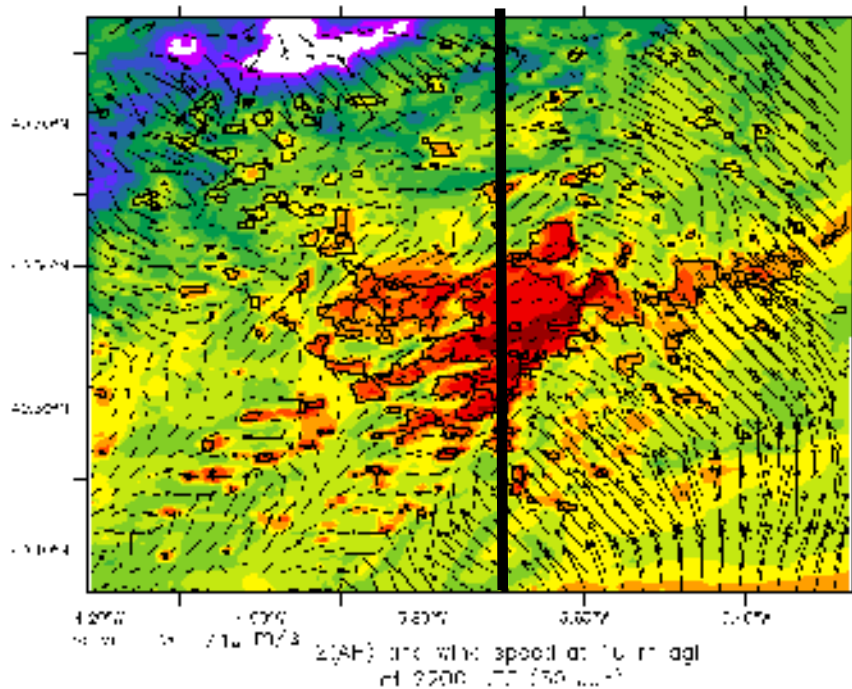
Isla de Calor Urbana

Temperatura a 2m y viento a 10m

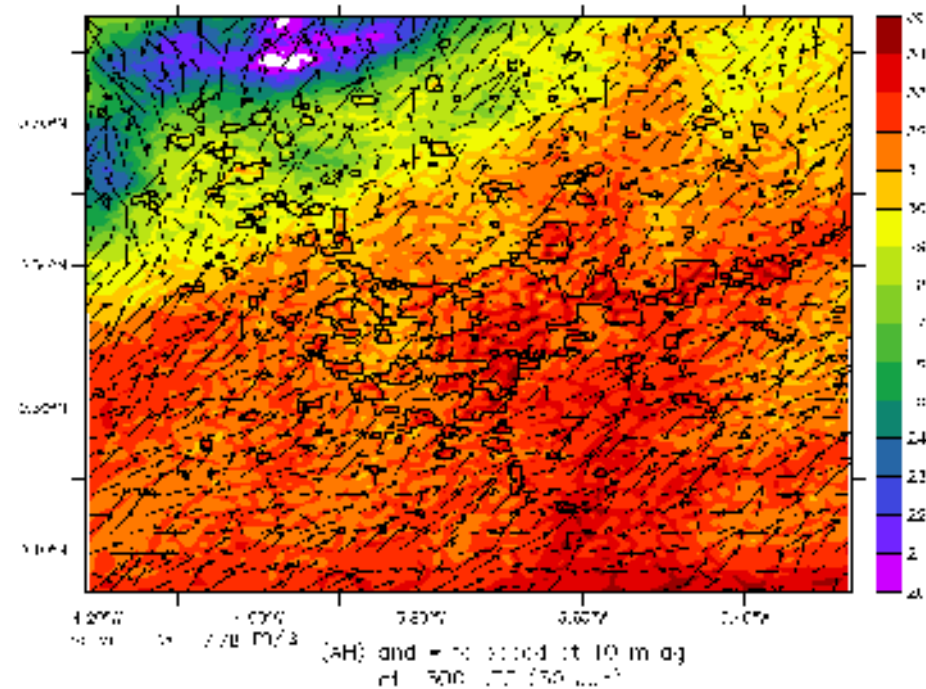
0000 LST

Isolíneas cada 1C.

1500 LST

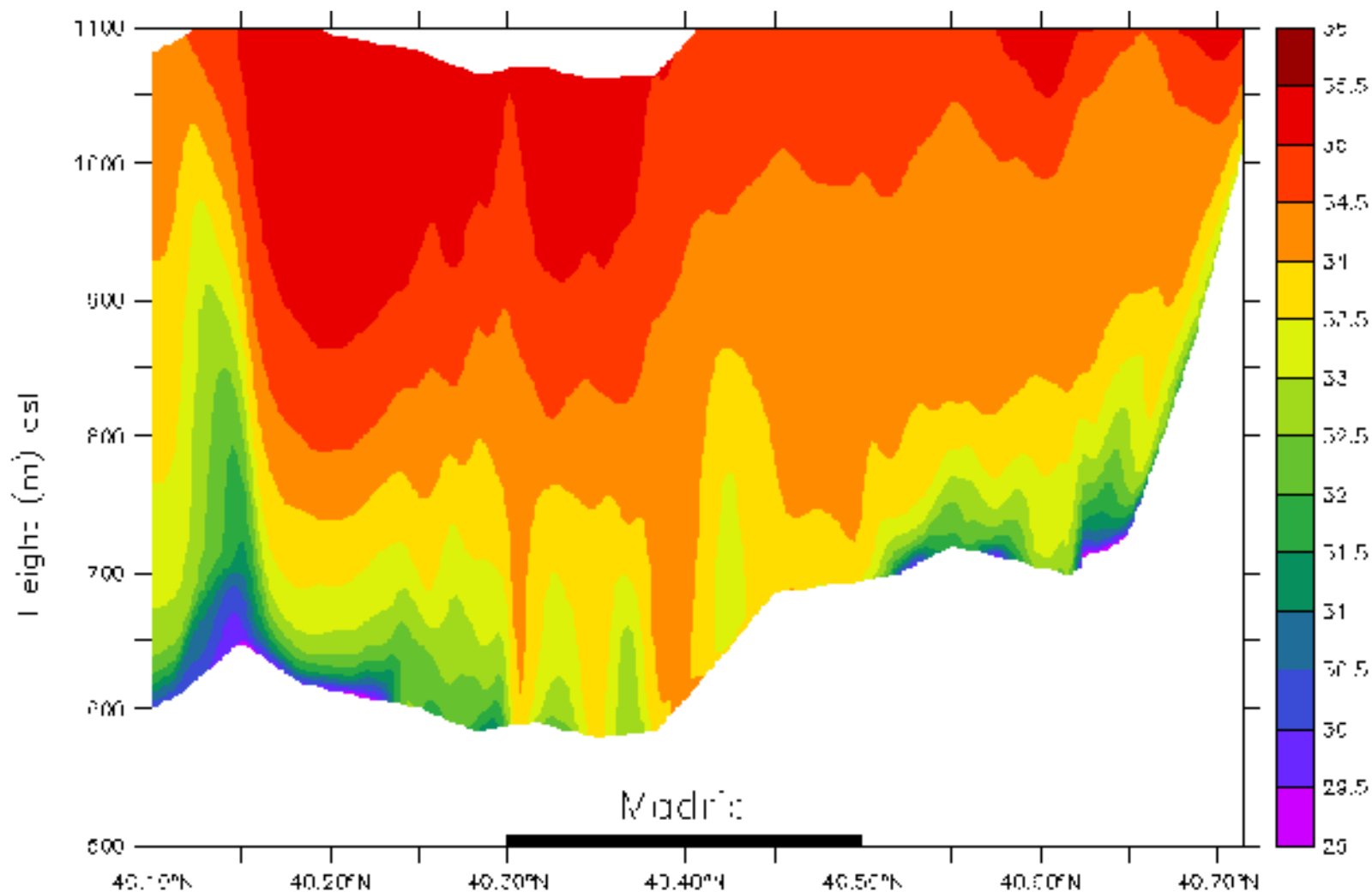


Isla de calor nocturna de 5-6 °C



No hay isla de calor diurna

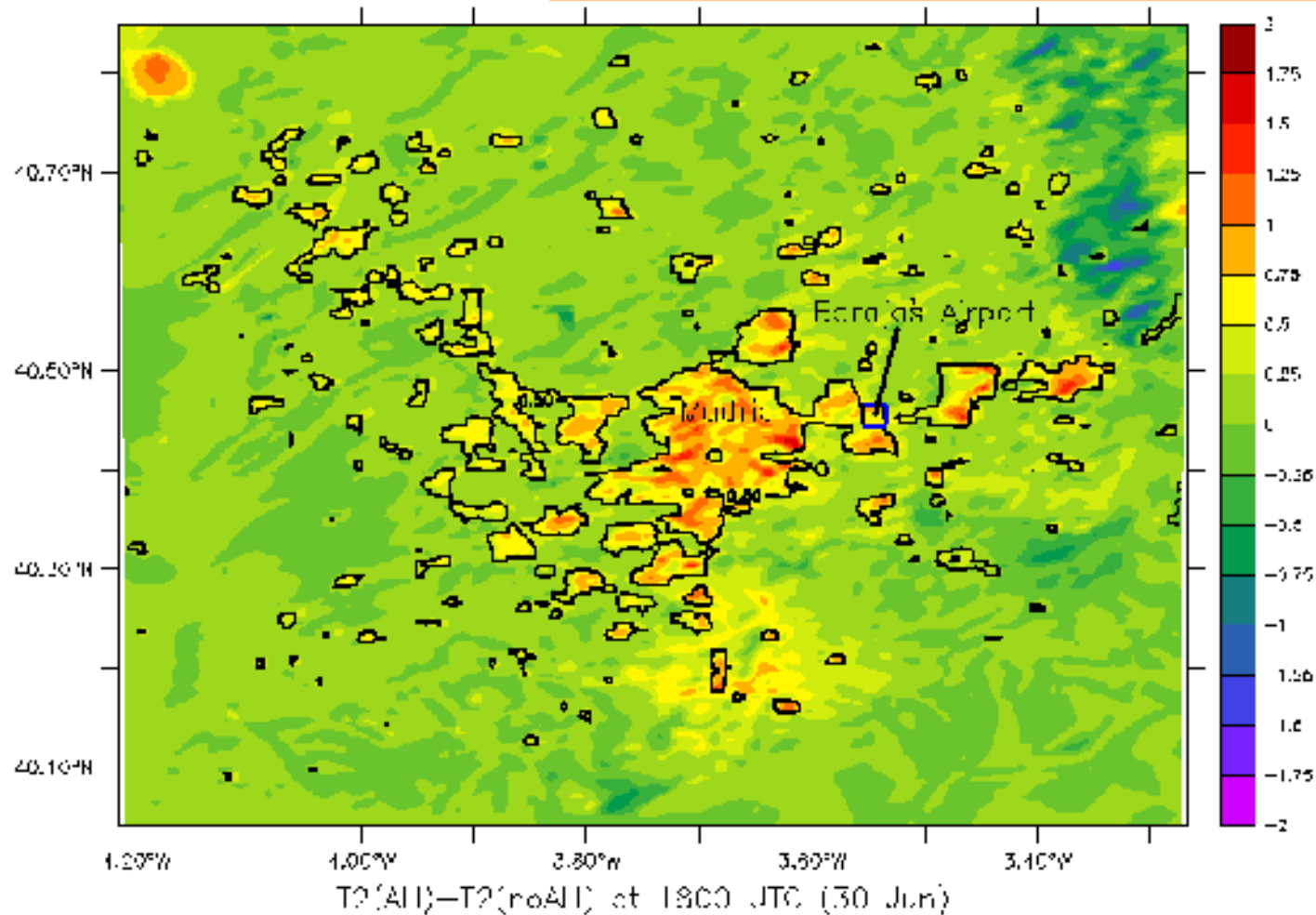
Sección vertical de temperatura potencial a las 0000 LST (30 Junio)



Vertical section (longitude=3.70W) of the Thetp (Celsius) at 2200 UTC (30 Jun)

Impacto de calor de aire acondicionados

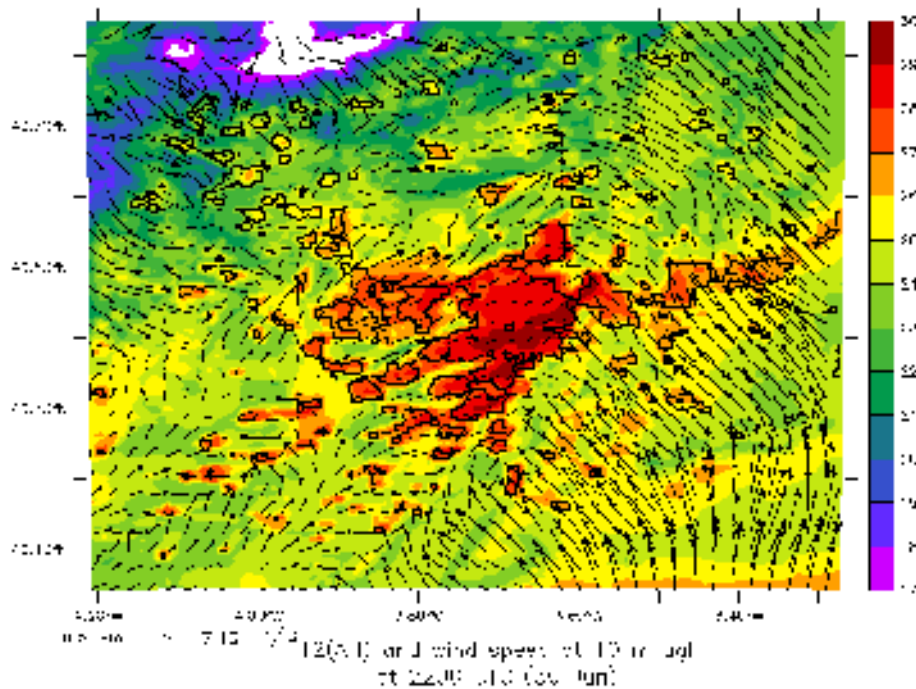
$t_2(\text{AC}) - t_2(\text{noAC})$ at 2000 LST (30th Jun)



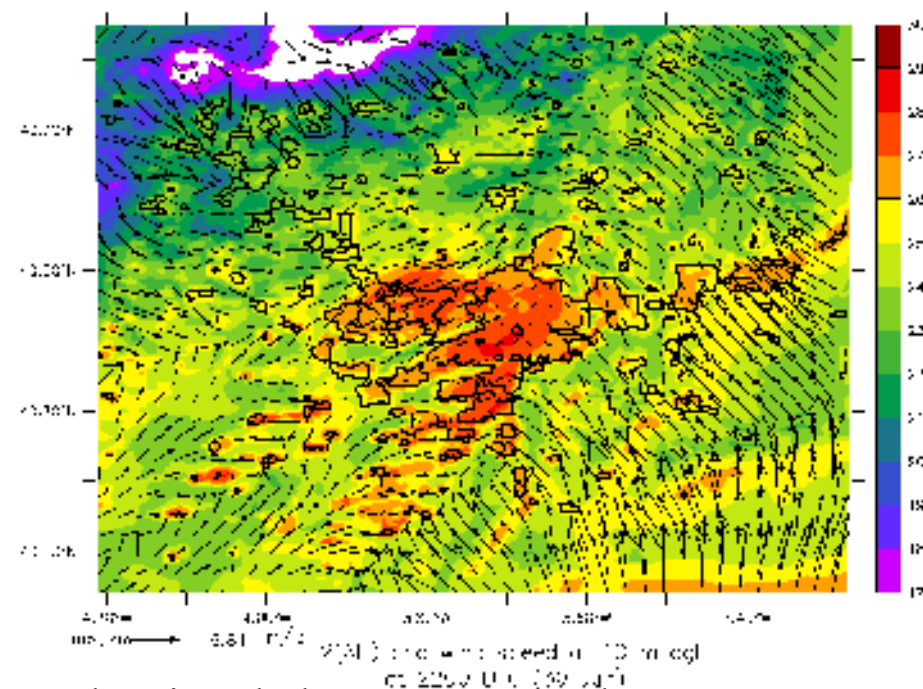
Evaluación de estrategias de reducción de la Isla de Calor urbana y ahorro energético.

Cambio de albedo de 0.2 a 0.4 por influencia del techo del edificio
Introducción de 6 cm. de material aislante en los techos
Sin que aires acondicionados introduzcan calor en la atmósfera

Caso Base



Estrategia



Reducción de la temperatura de 1.5-2 C

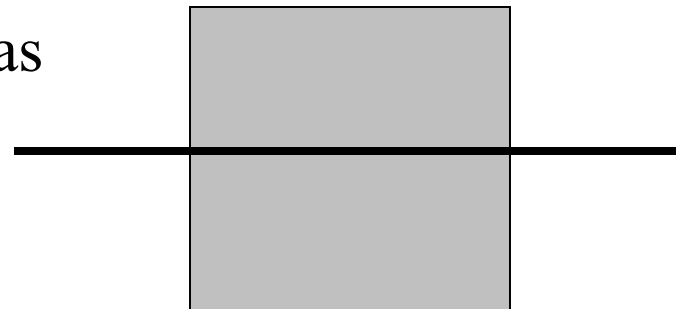
Ahorro energetico en porcentaje debido a la estrategia.

OUA (%) (commercial or industrial)	CUF (%) (high intensity residential)	DUF(%) (low intensity residential)	TOTAL(%)
7.66	10.42	11.83	10.47

¿ Hay una relación entre densidad de población, estructura urbana y clima urbano?

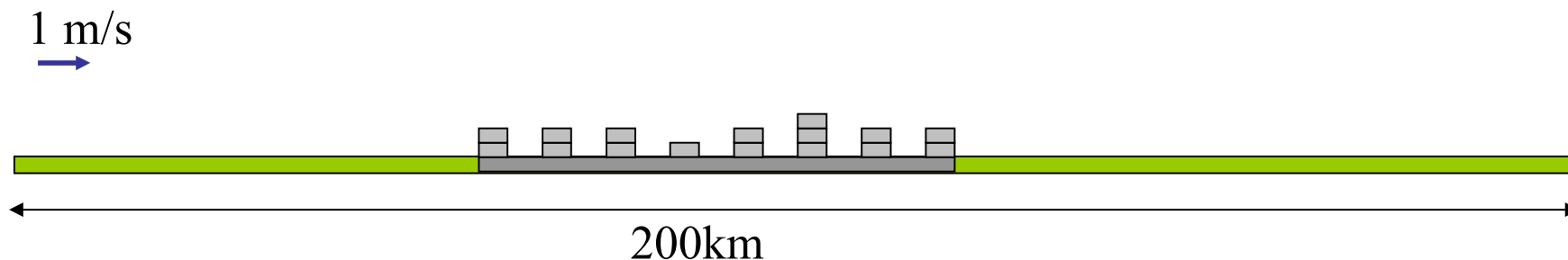
El modelo como herramienta para investigarlo.

Una serie de simulaciones 2D idealizadas con WRF:



Características de la ciudad:

- 10 millones habitantes (megaciudad).
- 1 persona cada 50m^2 de piso.
- Anchura media de edificios $B=20\text{m}$.
- Albedo de techos y muros 0.2.
- Temperatura interna para aire acondicionados: 23 Celsius
- Caso de Verano (21 Junio), Latitude 45N



Horizontal resolution 1km

Cinco tipos de ciudad

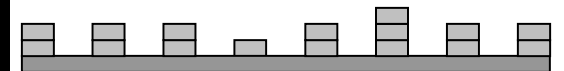
Tamaño ciudad (km)	Densidad de Población (habitantes/hectárea)	Distribución de altura de edificios	Anchura calles (m)	Fracción urbana
100	10	100% 5m	140.	40%
40	62	100% 5m	25.	70%
25	160	20% 5m 60% 10m 20% 15m	30.	100%
20	250	20% 10m 60% 15m 20% 20m	28.	100%
16	391	20% 15m 60% 20m 20% 25m	21.	100%



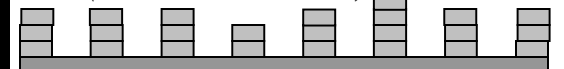
Ciudades Norteamericanas



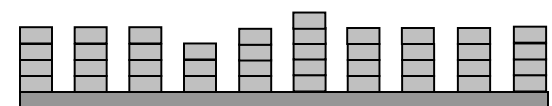
Ciudades Europeas



*Ciudades Asiáticas
(China, Corea)*



Ciudades Indias



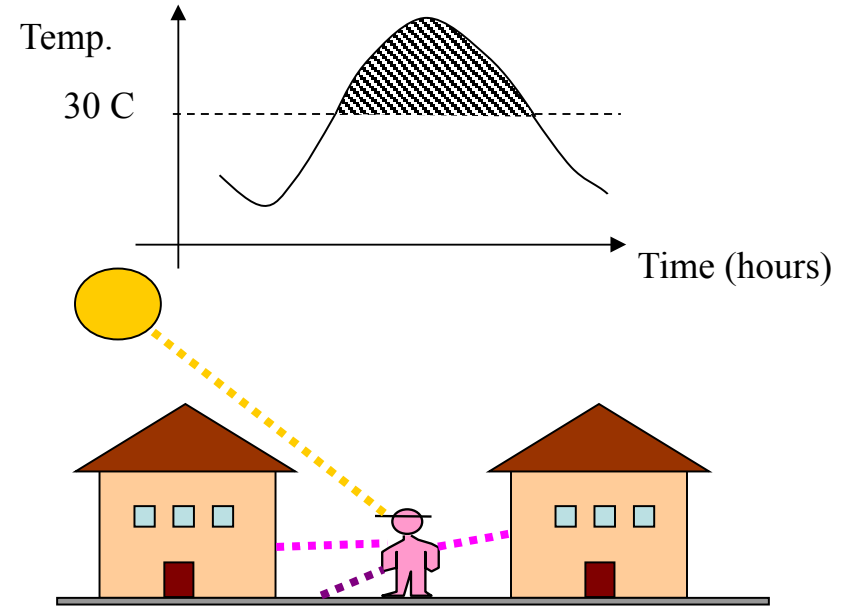
Hong Kong

Indicadores:

Integral en tiempo por encima de 30 C,
promediado sobre toda la ciudad, de la
temperatura del aire a 2m. -**AOT-AIRE**

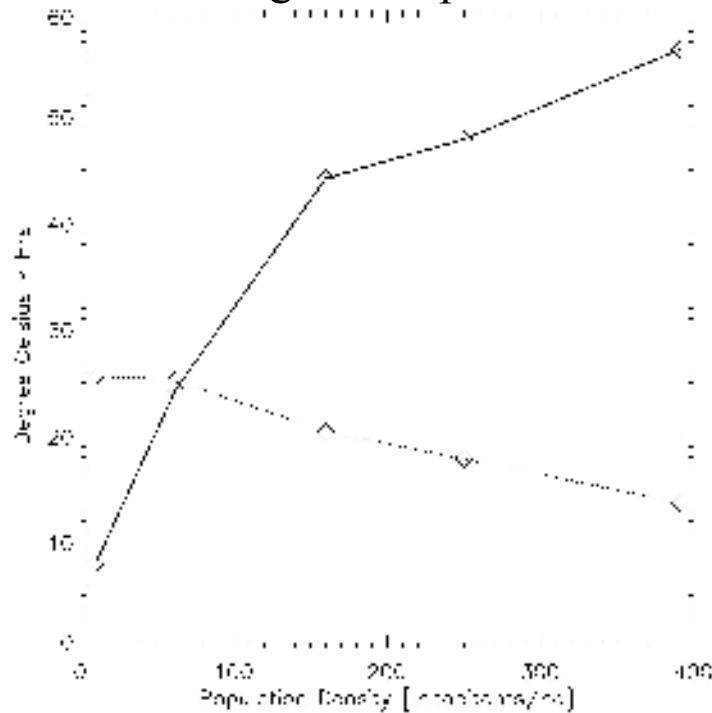
Integral en tiempo por encima de 30 C,
promediado sobre toda la ciudad, de la
temperatura media radiante. -**AOT-RAD**

Consumo energético por persona para aire
acondicionados



Temperatura media radiante, es el promedio de la temperatura de todos los objetos alrededor de la persona (incluido radiación solar).

Integral Temperatura

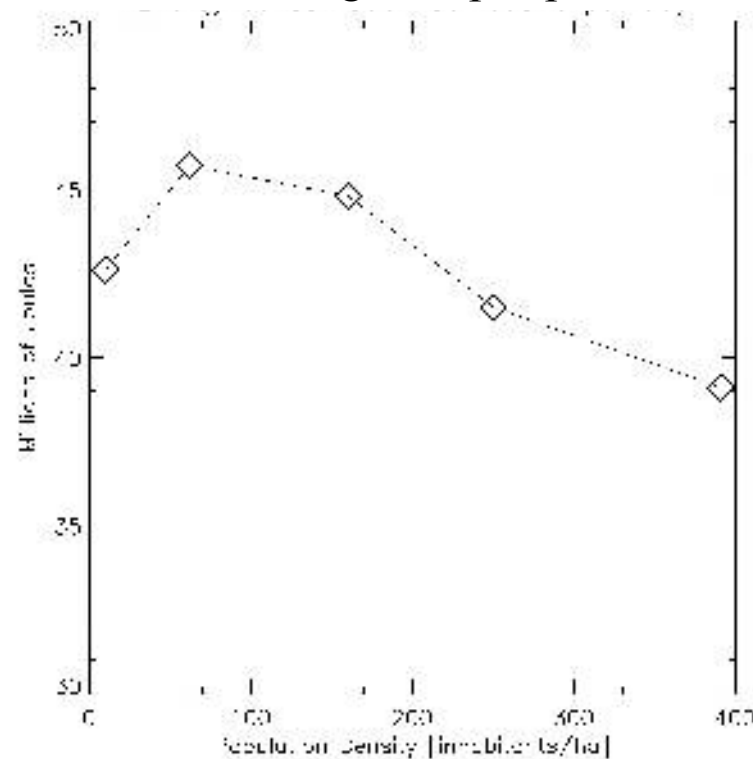


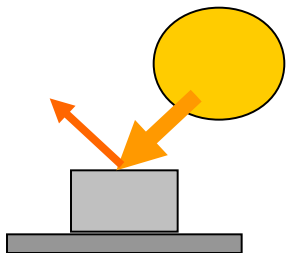
Mas densa la ciudad,
mas alta la
temperatura del aire
(Verano a Latitude 45
N).

Mas densa es la
ciudad menor es la
temperatura
radiante. Efecto de
sombra.

Ciudades de densidad media
consuman mas energía para
aire acondicionado que
ciudades muy densas.

Consumo energético por persona





Impacto de cambio en albedo

Tamaño ciudad (km)	Densidad de Población (habitantes/hectárea)	Distribución de altura de edificios	Anchura calles (m)	Fracción urbana
25	160	20% 5m 60% 10m 20% 15m	30.	100%

Albedo de techo y muros

0.05

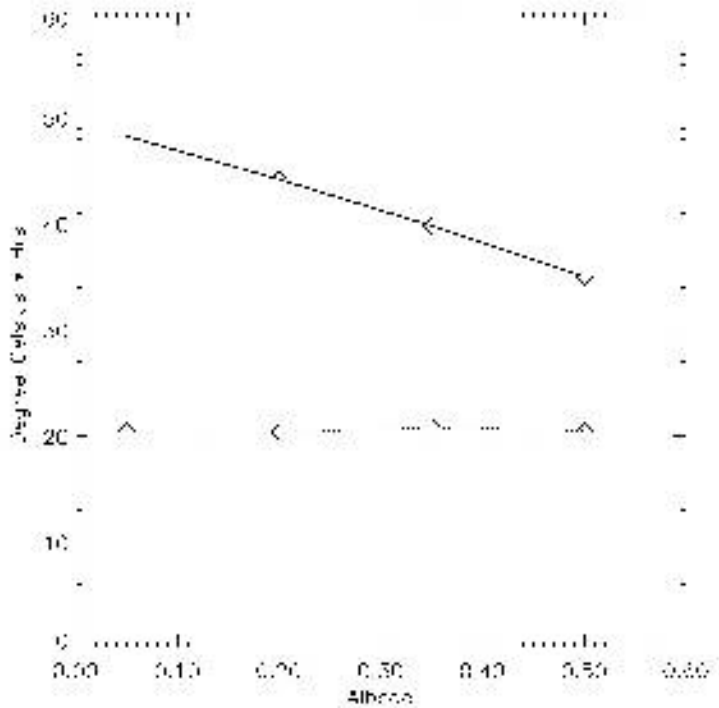
0.20

0.35

0.50

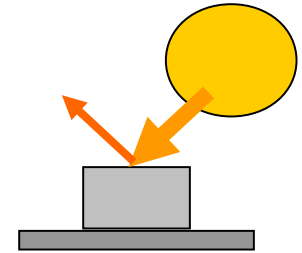


Integral Temperatura



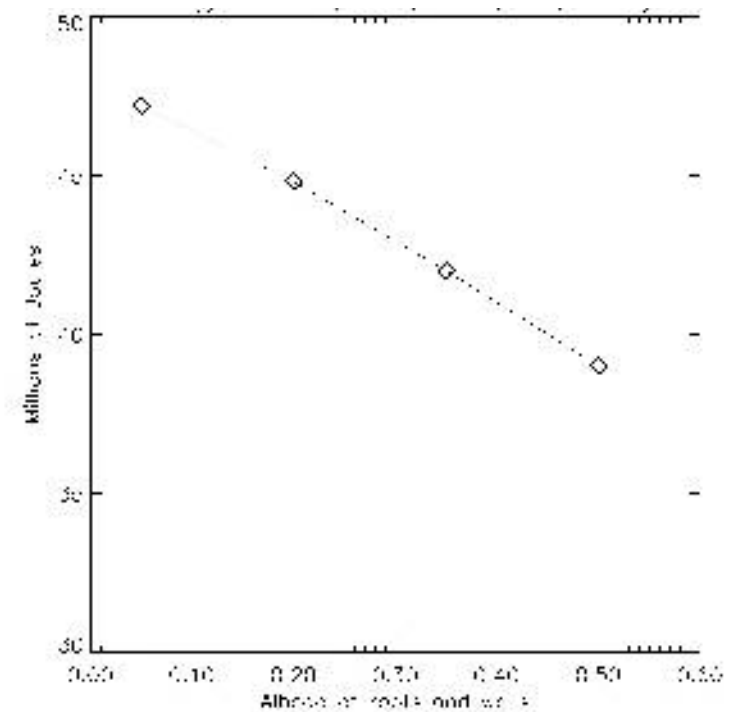
Aumento albedo reduce consumo energetico.

— AOT-AIRE
 AOT-RAD

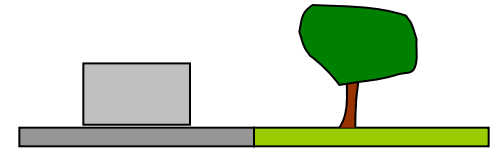


Aumento de albedo reduce temperatura del aire en ciudad.

Consumo energético por persona

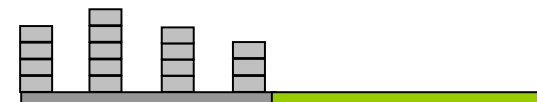
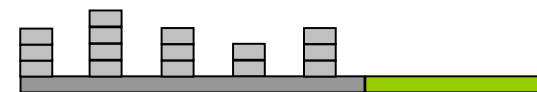
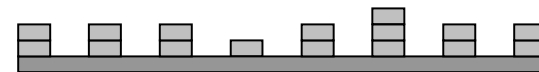


Aumento de vegetación urbana

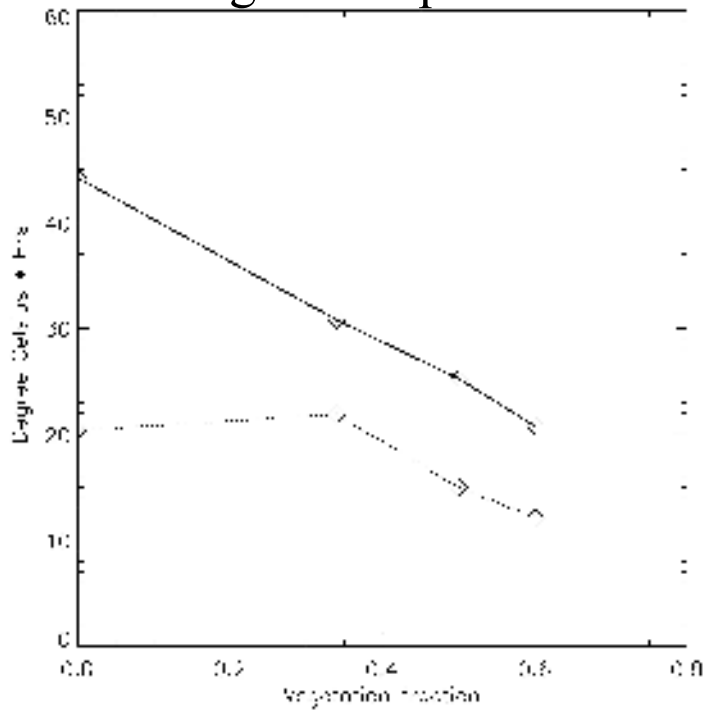


Tamaño ciudad (km)	Densidad Población (habitantes /hectárea)	Anchura calle (m)
25	160	30.

Distribución altura edificios	Fracción de vegetación
20% 5m 60% 10m 20% 15m	0.
20% 10m 60% 15m 20% 20m	0.33
20% 15m 60% 20m 20% 25m	0.5
20% 20m 60% 25m 20% 30m	0.6



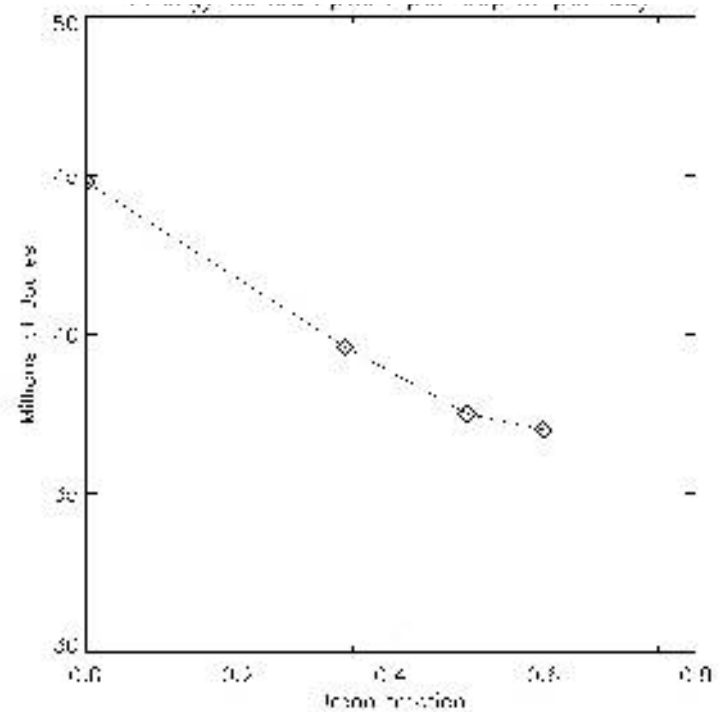
Integral Temperatura



Aumento de vegetación reduce temperatura del aire y temperatura radiante en ciudades.

Aumento de vegetación reduce consumo energético.

Consumo energético por persona



Con los modelos se pueden cuantificar las interacciones entre clima urbano y estructura urbana y, además, considerar otros indicadores como

Humedad del aire

Calidad del aire

Condiciones en invierno

Conclusiones

La atmósfera urbana es un sistema muy complejo debido a las múltiples interacciones entre clima urbano, calidad del aire, estructura urbana, consumo energético, etc.

Conclusiones

La atmósfera urbana es un sistema muy complejo debido a las múltiples interacciones entre clima urbano, calidad del aire, estructura urbana, consumo energético, etc.

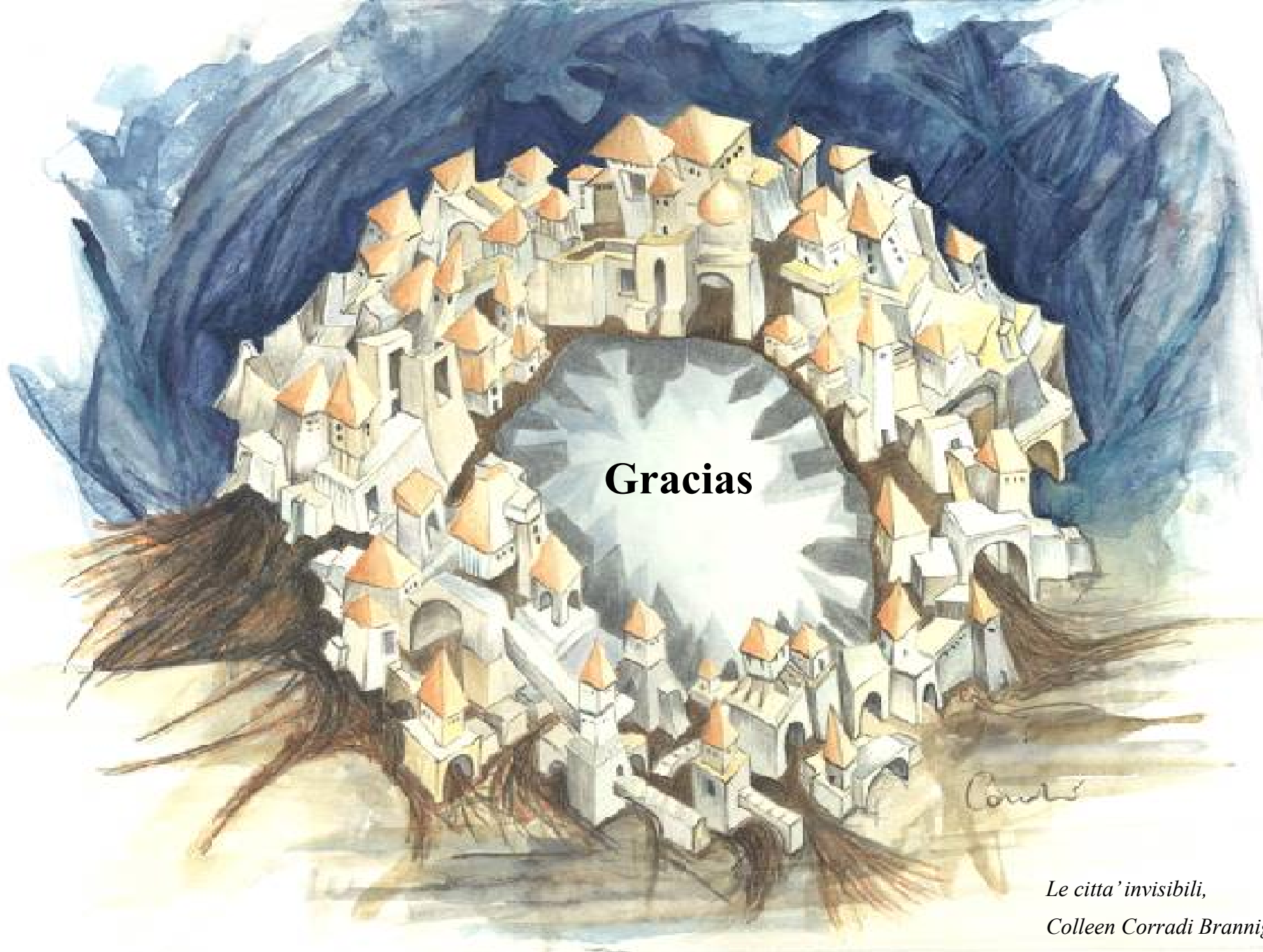
Los modelos numéricos a mesoescala con parametrizaciones urbanas son herramientas adecuadas para estudiar estas interacciones.

Conclusiones

La atmósfera urbana es un sistema muy complejo debido a las múltiples interacciones entre clima urbano, calidad del aire, estructura urbana, consumo energético, etc.

Los modelos numéricos de mesoescala con parametrizaciones urbanas son herramientas adecuadas para estudiar estas interacciones.

Juntos con otros modelos (desarrollo urbano, tráfico, emisiones, etc.) pueden ser utilizados para evaluar estrategias de mejora del clima urbano y de planificación urbana.



Gracias

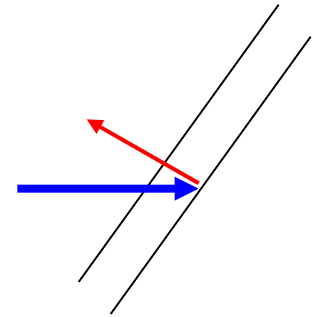
*Le città invisibili,
Colleen Corradi Brannigan*

Momentum

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{\partial \rho' U_j}{\partial x_j} - \frac{\partial \overline{\rho' w}}{\partial z} - \rho \frac{\theta'}{\theta_o} g \delta_{i3} - 2 \varepsilon_{ijk} \Omega_j (U_k - U_k^G) + Du_i^H + Du_i^V$$

Drag (veg. canopies)

$$\vec{Du}_{IU}^V = -\rho C_{drag} \left| U_{IU}^{ort} \right| U_{IU}^{ort} \frac{\mathbf{e}}{V_{IU} - V_{IUbuild}} \frac{S_{IU}^V}{V_{IU} - V_{IUbuild}}$$



Friction on horizontal surfaces.

$$\vec{Du}_{iu}^H = -\rho \frac{v_k^2}{\left[\ln \left(\frac{\Delta z_{IU} / 2}{z_{oiu}} \right) \right]^2} f_m \left(\frac{\Delta z_{IU} / 2}{z_{oiu}}, Ri_B \right) U_{IU}^{hor} \left| U_{IU}^{hor} \right| \frac{\mathbf{e}}{V_{IU} - V_{IUbuild}} \frac{S_{iu}^H}{V_{IU} - V_{IUbuild}}$$

Potential Temperature

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \frac{\theta}{\rho} - \frac{\partial \rho U \theta}{\partial x_i} - \frac{\partial \overline{\rho v \theta_i}}{\partial z} - \frac{1}{C_p} \left(\frac{P_o}{P} \right)^{R/C_p} \frac{\partial R_{lwave}}{\partial z} + D\vartheta^H + D\vartheta^V$$

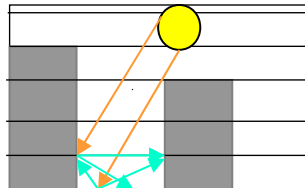
Horizontal

$$D\theta_{iu}^H = -\rho \frac{v_k^2}{\left[\ln \left(\frac{\Delta z_{IU} / 2}{z_{oiu}} \right) \right]^2} \left| U_{IU}^{hor} \right| (\theta_{air} - \theta_{surf}) f_h \left(\frac{\Delta z_{IU} / 2}{z_{oiu}}, Ri_B \right) \frac{S_{iu}^H}{V_{IU} - V_{IUbuild}}$$

Vertical

$$F\theta_{IU}^V = \frac{\eta}{C_p} \left[(\theta_{air} - \theta_{wall IU}^{West}) + (\theta_{air} - \theta_{wall IU}^{East}) \right] \frac{S_{IU}^V}{V_{IU} - V_{IUbuild}}$$

Energy balance for every surface, accounting for radiation shadowing and trapping



Turbulent kinetic energy

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} = -\frac{\partial \bar{\rho}_i E}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{\rho} w}{\partial z} + \rho K_z \left[\left(\frac{\partial U_x}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial U_y}{\partial z} \right)^2 \right] - \frac{g}{\theta_o} \rho K_z \frac{\partial \theta}{\partial z} - \rho C_\varepsilon \frac{E^{3/2}}{l_{dissip.}} + D_E$$

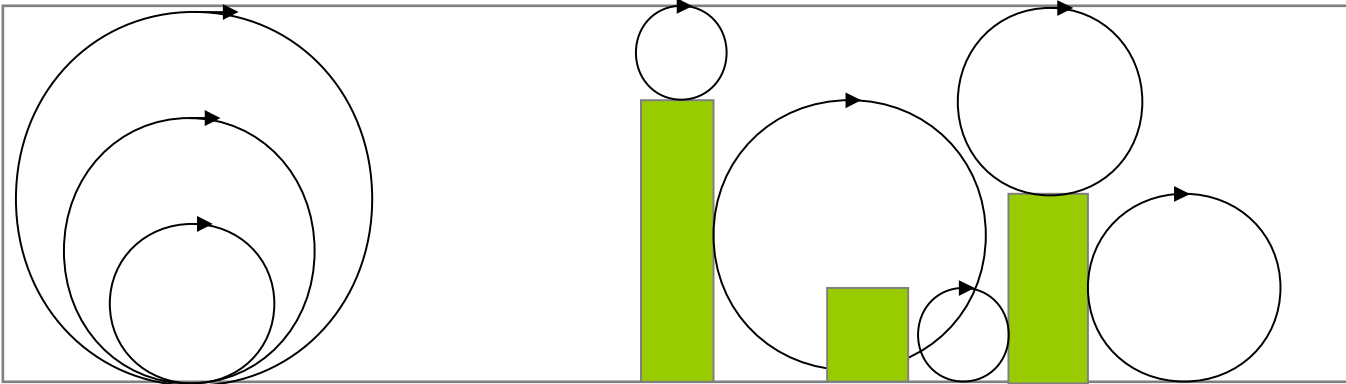
$$K_z = C_k l_k E^{1/2}$$

Drag (veg. canopies)

$$De_{IU} = C_{drag} |U_{ort IU}|^3 \frac{S^V_{IU}}{V_{IU} - V_{IUbuild}}$$

rural

urban



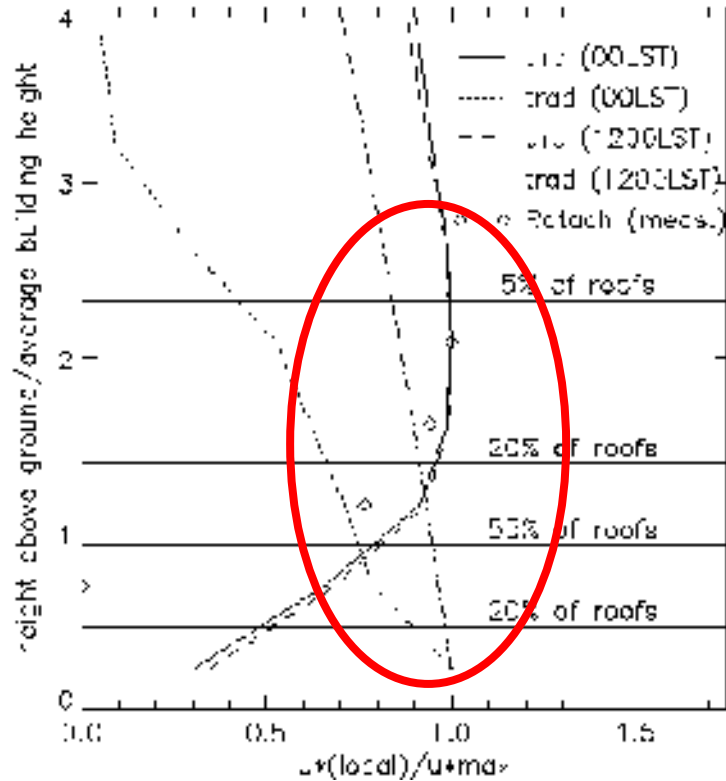
Modification of length scales

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{l_{old}} + \frac{1}{l_b}$$

$$l_{ground}|_I = \frac{1}{\frac{W}{B+W} \frac{1}{z_I} + \frac{B}{B+W} \sum_{iu=1}^{iub-1} \gamma(z_{iu}) \frac{1}{z_I - z_{iu}}}$$

$$\frac{l}{l_b}\bigg|_I = \sum_{iu=ibu}^{nu} \gamma(z_{iu}) \frac{l}{z_{iu}}$$

Reynolds Stress



Turbulent Kinetic Energy

