

# Modelo de la Isla de Calor Atmosférico y Superficial: Factores en Común y alternativas para la Mitigación de su Efecto en salud humana y medioambiente urbano

---

## Factores claves y limitantes

**Gustavo M. Godoy Uribe**  
**[g.godoy.uribe@gmail.com](mailto:g.godoy.uribe@gmail.com)**

La realización de un modelo de simulación ambiental es un proceso reiterativo del estudio de los elementos y su relación en la descripción o explicación de un fenómeno. Este trabajo se enfoca en el proceso de creación de un modelo de simulación ambiental que permita conocer la interacción y comprender el impacto que tienen los elementos en la isla de calor urbano y su consecuencia en la población urbana y el entorno.

## **Contenido**

---

Resumen .....	2
Summary.....	3
Introducción.....	3
Marco Teórico .....	4
Diagrama Causal.....	4
Relaciones entre elementos.....	6
Diagrama de Flujo .....	8
Marco Metodológico .....	5
Resultados.....	16
Conclusiones.....	17
Referencias .....	17
Anexos .....	18

## **Resumen**

---

El proyecto se enfoca en el estudio, análisis e influencia de los elementos que intervienen en el fenómeno de la isla de calor atmosférica y superficial y su relación. El incremento de la temperatura local por el crecimiento del área urbana construida, del parque automotriz, la disminución del arbolado urbano y de los espacios de áreas verdes con sus efectos son algunos de los problemas en la elaboración del modelo, que a priori se aprecian en el sistema urbano de una ciudad. Los factores se relacionan con el balance energético del sistema urbano, junto con variables físicas propias del entorno (Tamini, 2010).

Se desea relacionar los elementos de mayor influencia dentro de un modelo, que aspectos tienen en común la isla de calor atmosférica y superficial en el modelo para proponer estrategias de mitigación sostenibles sobre su efecto en un sistema urbano.

Las islas de calor o UHI (Urban Heat Island) han sido estudiadas, desde 1818 hasta la fecha, con diversas metodologías y en distintas zonas geográficas (Carreras et al., 1990). Se reconoce desde esta base su repercusión en el aumento de la temperatura del sistema urbano, su relación directamente proporcional con el tamaño de la mancha urbana, y su efecto sobre el incremento del consumo de energía, de la emisión de contaminantes y gases efecto invernadero, lo que resulta en problemas de salud y problemas de confort (Tamini, 2010).

La relevancia del estudio está relacionado con la mitigación de los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente, considerando que se estima, según informe mundial sobre los asentamientos humanos 2009 ONU-HABITAT, que antes del año 2050 el 70% de la población vivirá en la zona urbana. Por lo que se considera necesario un estudio de esta índole para colaborar en la planificación estratégica del sistema urbano.

El presente estudio se enfoca a elaborar un diagrama de flujo con los elementos de la UHI mediante la técnica de dinámica de sistema.

## **Summary**

---

The project focuses on the study, analysis and influence of the elements involved in the phenomenon of atmospheric heat island surface and their relationship. The local temperature increase due to the growth of the urban area built, number of vehicles, the decline of urban trees and green spaces with their effects areas are some of the problems in developing the model, which a priori can be seen in the urban system of a city. The factors are related to the energy balance of the urban system, along with physical characteristic of the environment variables (Tamimi, 2010).

They want to relate the most influential elements within a model, which aspects have in common atmospheric heat island and surface in the model to propose mitigation strategies on its effect on sustainable urban system.

Heat islands or UHI (Urban Heat Island) have been studied, from 1818 to date, with different methodologies and in different geographical areas (Carreras et al., 1990). It is recognized from this base its impact on increasing the temperature of the urban system, its direct relationship with the size of the urban area, and its effect on the increase in energy consumption, emission of pollutants and greenhouse gases, resulting in poor health and comfort problems (Tamimi, 2010).

The relevance of the study is related to the mitigation of adverse effects to human health and the environment, considering that it is estimated, according to Global Report on Human Settlements 2009 UN-HABITAT, 2050 that 70% of the population live in urban areas. As necessary a study of this nature to assist in the strategic planning of the urban system.

The present study focuses on developing a flow chart UHI elements by the technique of system dynamics.

## **Introducción**

---

La UHI ha sido estudiada, desde 1818 hasta la fecha, con diversas metodologías y en distintas zonas geográficas (Carreras et al., 1990). Se reconoce desde esta base su repercusión en el aumento de la temperatura del sistema urbano, su relación directamente proporcional con el tamaño de la mancha urbana, y su efecto sobre el incremento del consumo de energía, de la emisión de contaminantes y gases efecto invernadero, lo que resulta en problemas de salud y problemas de confort (Tamini, 2010).

Las metodologías y tradicionales de estudio no se enfocan a conocer el funcionamiento interno del sistema en estudio, sin embargo, metodologías como la dinámica de sistemas se orienta el entendimiento sistémico interno de los fenómenos. La dinámica de sistemas mediante el estudio de los elementos y su interacción comprender el comportamiento de los sistemas como un todo en funcionamiento (Martín García, 2004) (Martín García, 2006).

La metodología de dinámica de sistemas se complementa, como una solución eficiente a los estudios realizados para evaluar los impactos que tiene la UHI sobre la salud y el confort de los habitantes de una ciudad. Pero también se presenta como una alternativa para presentar soluciones sustentables que no traigan consecuencias a largo plazo.

Según García and Martilli (2012) hay tres líneas de investigación relacionadas con las UHI:

1. El análisis de la intensidad y frecuencia de la isla de calor, como indicativo de la magnitud del fenómeno urbano.
2. La modelización espacial de la isla de calor atmosférica y superficial en diferentes situaciones meteorológicas, especialmente en eventos extremos como las olas de calor en el periodo estival.
3. La evaluación de impactos sobre el confort térmico y el consumo energético.

En el presente estudio se pretende proponer un modelo con los elementos incidentes y las interacciones de estos en la isla de calor urbano atmosférico y superficial, basado en estudios preliminares, poniendo énfasis en los elementos relacionados con la mitigación del efecto adverso en la salud y medio ambiente. Es decir no se pretende realizar dos modelos sino sólo uno que integre el impacto que tiene el fenómeno en la sobremortalidad de la población

## **Marco Teórico**

---

Los cambios antropogénicos son la principal causa dentro de las modificaciones del clima urbano (García and Martilli, 2012). Efectos bien conocidos como la UHI han sido estudiados mediante formular modelos empíricos de la isla de calor, son esfuerzos sistémicos enfocados a la comprensión del fenómeno.

La metodología empleada, generalmente, para su estudio adopta la forma tradicional, sin embargo, autores como Jusuf (Jusuf, 2009) han trabajado en la línea de la predicción de la temperatura, mediante la dinámica de sistemas, según una combinación de elementos relacionados, predicciones que fueron validadas por datos de campo de sectores poblados de Singapur.

Para efectos de este estudio se define la isla de calor urbana o UHI (Urban Heat Island) como clima urbano y en cualquier ciudad se pueden distinguir dos tipos: la primera, denominada isla de calor atmosférica, representa las diferencias en la temperatura del aire entre las zonas urbanas y las rurales; la segunda, denominada isla de calor superficial, indica las diferencias térmicas entre las superficies artificiales (pavimento, aceras, tejados de los edificios, etc.) y las naturales (vegetación,

cultivos, roquedo) (García and Martilli, 2012). Para efectos prácticos las siglas de Isla de calor urbano atmosférico y superficial que se usarán de aquí en adelante serán AUHI y SUHI respectivamente.

La SHUI se presenta tanto en el día y la noche; claro que la intensidad mayor la presenta durante el día y en verano (Tamini, 2010).

La AUHI se disgrega en dos: una relacionada con el incremento la temperatura en la masa de aire que afecta directamente a los habitantes desde el suelo hasta la altura promedio de los edificios y árboles, y otra que va desde el límite descrito anteriormente y aproximadamente 1.5 km desde el suelo. La AUHI se presenta en el atardecer y es más importante por la noche que por el día y en invierno (Tamini, 2010).

Teniendo presente la división de AUHI y SUHI y relacionándola con la clasificación de predictores climáticos y geomorfológicos urbanos (Jusuf, 2009), se clasificarán los elementos para su correspondiente incorporación en un diagrama causal. Se consideró la relación de las variables según los modelos empíricos de predicción de temperatura de Jusuf. Se tiene presente como uno de los factores determinantes la densidad poblacional dentro de la calidad de vida (Navarro Vera and Ortuño Padilla, 2011). Se considera el estudio epidemiológico de Conti (Conti et al., 2005) que describe la correlación entre los efectos de la isla de calor y el incremento de la Defunciones de la población urbana. Queda claramente establecido por la evidencia descrita en los estudios de la alta mortalidad sobre personas de 65 y más años ante y después de unos días del efecto de olas de calor (Basu and Samet, 2002). La relación entre la temperatura y la mortalidad de personas mayores de 64 años se asocia a umbrales tipo, intensificándose en ciudades de clima templado, estableciéndose una relación no lineal que aumenta la tasa de mortalidad sobre los 34 °C . Sobre aspectos de mitigación se consideraron relaciones generales que pueden ajustarse a las circunstancias particulares, entre las estrategias se encuentran, los árboles y vegetación, edificios reflectantes, pavimentos fríos, techos verdes, entre otros (Fernández García, 2009). Se consideran elementos de mitigación sobre superficies de transporte (Wan and Hien, 2012), áreas urbanas y techumbres.

## **Marco Metodológico**

---

Como objetivo general se persigue realizar un modelo que permita comprender las interacciones del fenómeno de la isla de calor atmosférico y superficial, para responder que alternativas de mitigación pueden ser más eficientes y sostenibles en la mitigación de los efectos de éste sobre la salud humana, el medio ambiente.

- a) ¿Qué elementos tienen mayor impacto sobre los efectos en salud humana y medioambiental urbana en el modelo de la isla de calor?
- b) ¿Qué elementos e interacciones tienen en común?
- c) ¿Qué alternativas de mitigación son más eficientes y sostenibles en la mitigación de los efectos de la isla de calor en salud humana y medioambiental urbana?

En la etapa de estudio se realizará el estudio de los antecedentes de investigaciones sobre islas de calor atmosférico y superficial, los elementos del sistema, sus interacciones, sus efectos sobre la salud de la población urbana y sobre el ambiente urbano. El enfoque se orienta a responder las preguntas planteadas en los objetivos y a detectar los elementos e interacciones en común. Con lo anterior se tendrá como base teorías, enfoques, conceptos, modelos previos y antecedentes relacionados con la problemática.

Se analizarán los antecedentes seleccionados de la fase de estudio para la selección de elementos que integrarán el modelo de la isla de calor urbana. De los anteriores se considerarán los elementos e interacciones resultantes y las relaciones existentes del modelo de isla de calor urbana atmosférico y superficial.

Realización del modelo de la isla de calor, Análisis del modelo resultante y sus efectos.

Se incorporarán los elementos, interacciones y variables en el modelo por computadora en un proceso iterativo. Del proceso se procederá a la determinación de la Influencia de los elementos del modelo.

Se utilizará el software Vensim PLE 6.0b, con licencia académica, para el desarrollo del modelo y la simulación posterior para el análisis.

## Elementos y relaciones

---

La presencia de la isla de calor urbano se debe a la recepción y absorción directa de irradiación sobre la superficie urbana (Romero Aravena et al., 2008). A mayor superficie construida, mayor es entonces la alteración de los parámetros climáticos que contribuyen a regular el clima local, ya que disminuyen los aportes de humedad por evapotranspiración vegetal y la sombra de la vegetación, aumentando el impacto de la radiación solar incidente y en consecuencia el calentamiento diurno, así como la emisividad del calor durante las primeras horas nocturnas. Disminución de visibilidad u opacidad atmosférica por la abundancia de material particulado en suspensión, sobre todo sobre los meses de sequía o verano, así como aumento de la retención de calor por las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente CO<sub>2</sub>, producto de la combustión automotor y otras actividades en las áreas urbanas (Oke, 2006).

Las ganancias de calor por radiación solar, tienen mayor impacto en las superficies perpendiculares a los rayos del sol, es decir en los techos y las paredes este y oeste durante todo el año en las regiones tropicales, y en la pared sur en los meses de invierno boreal en las regiones subtropicales (noviembre, diciembre, enero) (Sosa and Siem, 2004).

Cuanto mayor sea la masa térmica del ambiente, menor es la temperatura, ya que reduce el calor liberado al medio ambiente circundante. Mientras tanto, la superficie de pared grande conduce a un aire de temperatura más alta, ya que la pared refleja onda corta y la radiación solar de onda larga al medio ambiente. La vegetación reduce la temperatura del aire. Se cree que la existencia de calor antropogénico aumenta aún más la temperatura del aire y el efecto vegetación se hace menos significativa. El estudio según Jusuf (2009) concluyó que durante el día, hay una fuerte correlación entre la temperatura del aire y el factor de cielo abierto (SVF) (Jusuf, 2009). Según Tamini (2010) factores importantes son el aumento de la potencia requerida para alcanzar confort y el tiempo de uso de los sistemas de refrigeración.

Desde la perspectiva de la irradiación y la superficie de ocupación urbana, se puede decir, que la UHI es la relación entre la superficie natural y urbanizada, no considerando los factores geométricos urbanos, que por cierto contribuyen a intensificar la UHI y que acentúan el problema de sitios específicos dentro del área urbana, lo denominado cañón urbano. La actividad urbana y la falta de estrategias en los cambios del entorno generan problemas a largo plazo como las islas de calor urbano, que como consecuencia generan problemas de confort, pero también contribuyen a la sobremortalidad urbana.

La relación de consumo eléctrico emisiones de CO<sub>2</sub> es objeto de estudio y se dice que el incremento de 1°C/500MW y 500MW equivalen a 310TON CO<sub>2</sub><sup>1</sup>. También hay resultados de la relación en función del monitoreo en tiempo real del consumo eléctrico de España<sup>2</sup>.

Las estrategias de mitigación son variadas, sin embargo, estas se pueden clasificar en tipo natural y artificial. Dentro de las primeras tenemos los techos verdes (Gaffin et al., 2009), la relación de estas con el ahorro de consumo de energía eléctrica se estima entre un 7 a un 47% (Sosa and Siem, 2004)<sup>3</sup>. La fijación de CO<sub>2</sub> por árbol es un hecho conocido, algunas estrategias de disminución se concentran

---

<sup>1</sup> <http://www.globalcoolcities.org/wp-content/uploads/2012/03/Cool-Surfaces-Conference-Mexico-February-2012-AEAE-Dr-Campos.pdf>

<sup>2</sup> <https://demanda.ree.es/demanda.html>

<sup>3</sup> [http://www.ssplan.buenosaires.gov.ar/dmdocuments/catastro\\_ecologico/articulos/mt\\_usb.pdf](http://www.ssplan.buenosaires.gov.ar/dmdocuments/catastro_ecologico/articulos/mt_usb.pdf)

en la planificación, diseño y plantación de bosques urbanos. Se estima que el carbono forma parte de alrededor del 50% promedio de la biomasa del árbol (SILVA HERRERA, 2005).

Alternativas artificiales podemos encontrar paredes reflectantes, asfaltos fríos entre otras, que tienen como objetivo reducir la temperatura superficial (Alchapar et al., 2012) (Wan and Hien, 2012).

Los estudios de mortalidad en función de la temperatura se concentran en la población de 65 años y más, que es el tramo poblacional más afectado por las modificaciones de temperatura y que tiene mayor riesgo de mortalidad. Alberdi y Palomares (2005) realizan un estudio sobre la sobremortalidad causada por las olas de calor sobre Madrid (Alberdi and Palomares, 2005). La relación temperatura sobremortalidad señalada en los estudios enfatizan una gráfica en “V”, esto quiere decir que a más baja o más alta temperatura hay más mortalidad y la menor mortalidad se encuentra en una temperatura entre la mínima y la máxima que bordea los 13 grados Celsius (Gómez Acebo, 2010).

### Diagrama Causal

La relación cálculo de CO2 por km recorridos por vehículo de obtuvo del sitio web <http://arboliza.es/compensar-co2/calculo-co2.html> [consultado en julio de 2013].

Considerado lo anterior se infieren las siguientes relaciones en un diagrama causal.

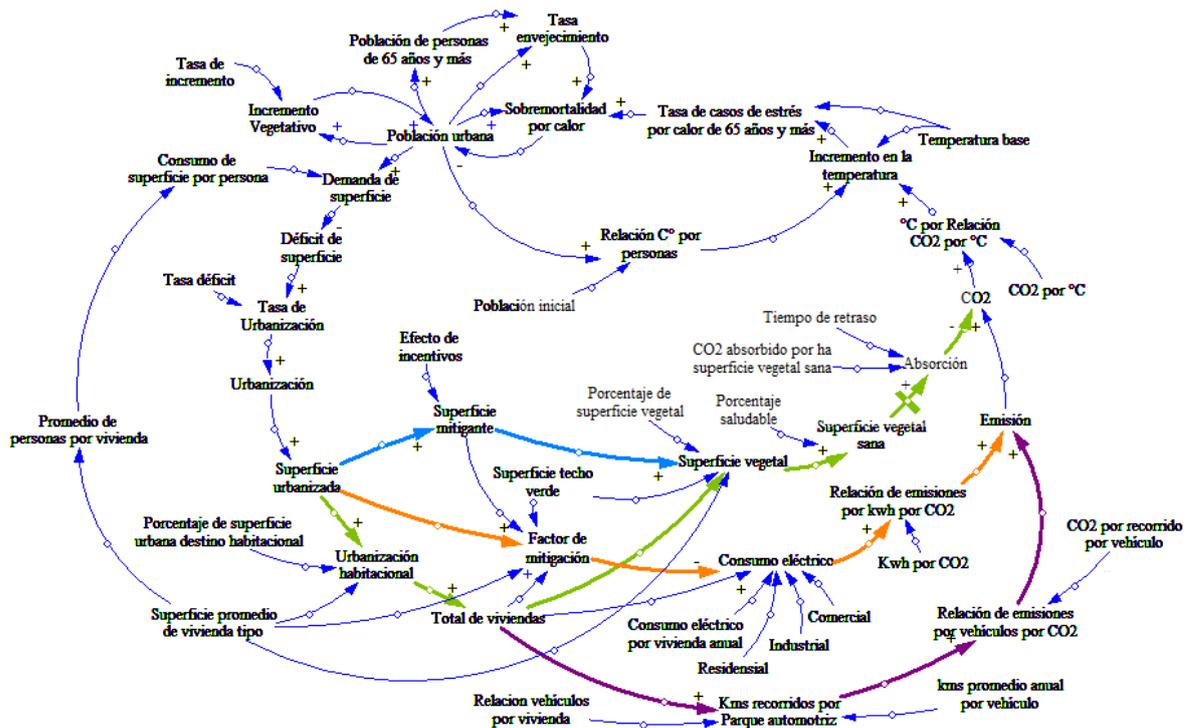
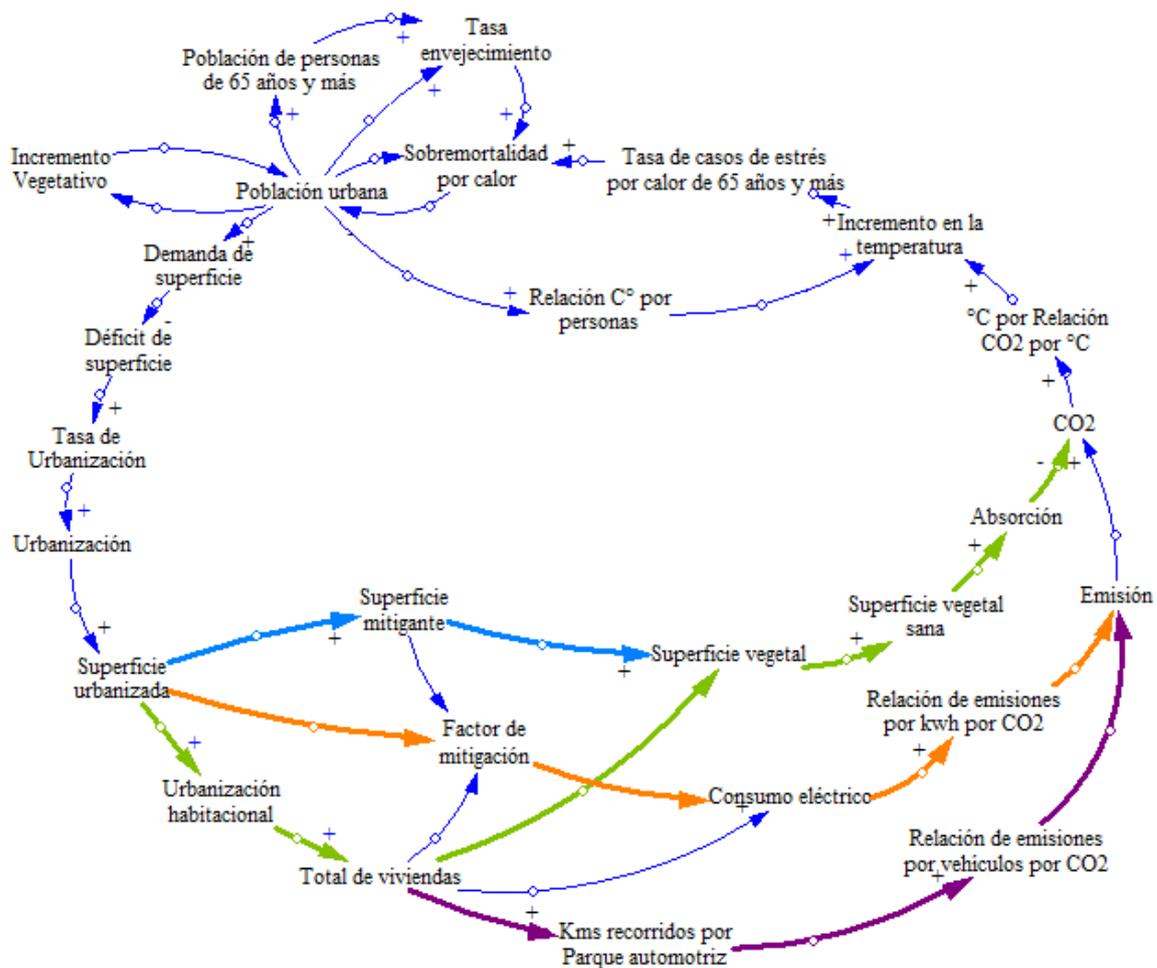


Figura 1 – Diagrama causal

Factores claves a primera vista se considera el porcentaje de superficie urbana que soporta a la población, sus actividades y recibe radiación solar.



**Figura 1 – Diagrama causal de bucles**

Los bucles que resultantes permiten observar las alternativas de mitigación, enfocadas en creación de superficies vegetales, ahorro de energía, y disminución de emisiones de CO2.

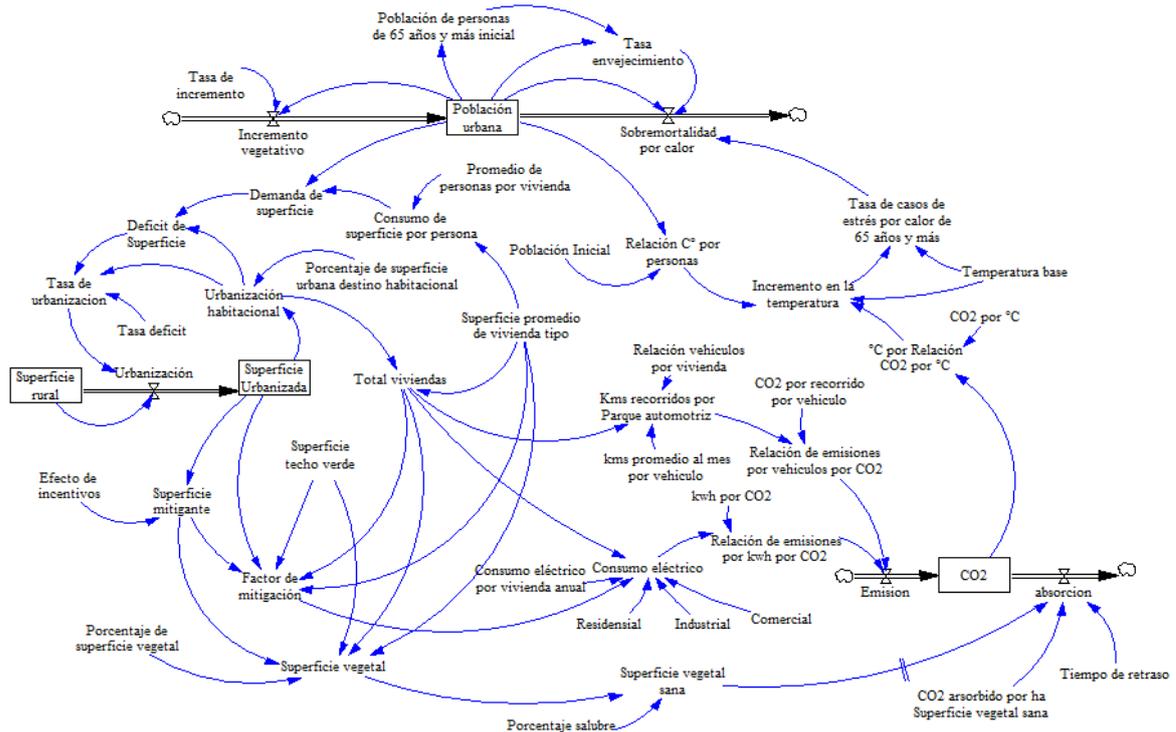
### Diagrama de Flujo

Para la elaboración del diagrama de flujo se tiene:

Niveles: Población Urbana, Superficie rural, Superficie urbanizada, CO2.

Flujos: Incremento vegetativo, Sobremortalidad por calor, Urbanización, Emisión, Absorción.

Variables auxiliares: Tasa de incremento, Población de personas de 65 años y más, Tasa de envejecimiento, Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más, Temperatura base, Incremento en la temperatura, CO2 por °C, °C por relación CO2 por °C, Relación de emisiones por vehículos por CO2, CO2 por recorrido por vehículo, kms promedio anual por vehículo, Relación vehículos por vivienda, kms recorridos por Parque automotriz, Relación °C por personas, Población inicial, Promedio de personas por vivienda, Consumo de superficie por persona, Déficit de superficie, Tasa de urbanización, Tasa déficit, Urbanización habitacional, Porcentaje de superficie urbana destino habitacional, Superficie promedio de vivienda tipo, total de viviendas, Efectos de incentivos, Superficie mitigante, Factor de mitigación, Porcentaje de superficie vegetal, Superficie vegetal, Superficie techo verde, Superficie vegetal sana, porcentaje salubre, CO2 absorbido por ha superficie vegetal sana, Tiempo de retraso, Consumo eléctrico, kwh por CO2, Relación de emisiones por kwh por CO2, Consumo eléctrico por vivienda anual, Residencial, Industrial, Comercial.



**Figura 1 – Diagrama de Flujo**

Las ecuaciones son:

- (01)  $^{\circ}\text{C por Relación CO}_2 \text{ por } ^{\circ}\text{C} = \text{WITH LOOKUP} ($   
 $\text{CO}_2/\text{CO}_2 \text{ por } ^{\circ}\text{C},$   
 $((-100,0)-(-100,10)),(-100,0),(-85.9327,0.131579),(-44.3425,0.526316),(-$   
 $15.5963,0.745614),(1,1),(41.896,1.92982),(73.0887,3.33333),(100,5) )$   
 Units:  $^{\circ}\text{C}$
- (02) Absorción=  
 $\text{DELAY1}(\text{Superficie vegetal sana} * \text{CO}_2 \text{ absorbido por ha Superficie vegetal sana}$   
 $, \text{Tiempo de retraso})$   
 Units:  $\text{kgCO}_2/\text{Year}$
- (03)  $\text{CO}_2 = \text{INTEG} ($   
 $\text{Emisión} - \text{Absorción},$   
 $0)$   
 Units:  $\text{kgCO}_2$   
 145894
- (04)  $\text{CO}_2 \text{ arsorbido por ha Superficie vegetal sana} =$   
 $2210.28$   
 Units:  $\text{kgCO}_2/\text{ha}/\text{Year}$
- (05)  $\text{CO}_2 \text{ por } ^{\circ}\text{C} =$   
 $3.1 \text{e} + 008$   
 Units:  $\text{kgCO}_2$
- (06)  $\text{CO}_2 \text{ por recorrido por vehículo} =$   
 $0.65$   
 Units:  $\text{kgCO}_2/(\text{kms} * \text{vehiculos} * \text{Year})$

- (07) Comercial=  
0.3  
Units: 1/Year
- (08) Consumo de superficie por persona=  
Superficie promedio de vivienda tipo/Promedio de personas por vivienda  
Units: ha/Personas
- (09) Consumo eléctrico=  

$$\begin{aligned} & ((\text{Total viviendas} * \text{Consumo eléctrico por vivienda anual}) + ((\text{Total viviendas} \\ & * \text{Consumo eléctrico por vivienda anual} \\ & ) * \text{Industrial/Residencial} \\ & ) + ((\text{Total viviendas} * \text{Consumo eléctrico por vivienda anual}) * \text{Comercial/Residencial} \\ & )) - ((\text{Total viviendas} * \text{Consumo eléctrico por vivienda anual}) + ((\text{Total viviendas} \\ & * \text{Consumo eléctrico por vivienda anual} \\ & ) * \text{Industrial/Residencial} \\ & ) + ((\text{Total viviendas} * \text{Consumo eléctrico por vivienda anual}) * \text{Comercial/Residencial} \\ & )) * \text{Factor de mitigación} \end{aligned}$$
Units: kwh/Year
- (10) Consumo eléctrico por vivienda anual=  
5280  
Units: kwh/Year/viviendas
- (11) Demanda de superficie=  
Población urbana \* Consumo de superficie por persona  
Units: ha
- (12) Déficit de Superficie=  
Demanda de superficie - Urbanización habitacional  
Units: ha
- (13) Efecto de incentivos=  
0.05  
Units: Dmnl
- (14) Emisión=  
Relación de emisiones por kwh por CO2 + Relación de emisiones por vehículos por CO2  
Units: kgCO2/Year
- (15) Factor de mitigación = WITH LOOKUP (  

$$\begin{aligned} & (\text{Superficie mitigante} + (\text{Superficie techo verde} * \text{Total viviendas} * \text{Superficie promedio} \\ & \text{de vivienda tipo} \\ & )) / \text{Superficie Urbanizada,} \\ & ((0,0) - (10,0.5)], (0,0), (0.5,0.7), (1,0.47) )) \end{aligned}$$
Units: Dmnl
- (16) FINAL TIME = 2030  
Units: Year  
The final time for the simulation.
- (17) Incremento en la temperatura=  

$$\begin{aligned} & \text{Temperatura base} + ((\text{°C por Relación CO2 por °C} + \text{Relación C° por personas} \\ & ) / 2) \end{aligned}$$

Units: °C

- (18) Incremento vegetativo=  
Población urbana\*Tasa de incremento  
Units: Personas/Year
- (19) Industrial=  
0.3  
Units: 1/Year
- (20) INITIAL TIME = 2002  
Units: Year  
The initial time for the simulation.
- (21) kms promedio anual por vehículo=  
20000  
Units: kms
- (22) Kms recorridos por Parque automotriz=  
kms promedio anual por vehículo\*Relación vehículos por vivienda\*Total viviendas  
Units: kms\*vehiculos
- (23) kwh por CO2=  
0.15  
Units: kgCO2/kwh
- (24) Población de personas de 65 años y más inicial=  
Población urbana\*0.114  
Units: Personas  
Se fija la población de personas mayores de 64 años en 11.4%  
de la población total
- (25) Población Inicial=  
121565  
Units: Personas
- (26) Población urbana= INTEG (  
Incremento vegetativo-Sobremortalidad por calor,  
121565)  
Units: Personas  
121565 personas es la población urbana de la ciudad de los  
Ángeles en 2002
- (27) Porcentaje de superficie urbana destino habitacional=  
0.5  
Units: Dmnl
- (28) Porcentaje de superficie vegetal=  
0.1  
Units: Dmnl
- (29) Porcentaje salubre=  
0.7  
Units: Dmnl

- (30) Promedio de personas por vivienda=  
4  
Units: Personas/viviendas
- (31) Relación C° por personas = WITH LOOKUP ( Población urbana/Población Inicial,  
((0,0)-(66,10)],(0,0),(2.06,1),(8.23,2),(16.45,3),(32.9,4),(65.81,5) ))  
Units: °C
- (32) Relación de emisiones por kwh por CO2=  
Consumo eléctrico\*kwh por CO2  
Units: kgCO2/Year
- (33) Relación de emisiones por vehículos por CO2=  
Kms recorridos por Parque automotriz\*CO2 por recorrido por vehículo  
Units: kgCO2/Year
- (34) Relación vehículos por vivienda=  
0.3  
Units: vehiculos/viviendas
- (35) Residencial=  
0.4  
Units: 1/Year
- (36) SAVEPER =  
TIME STEP  
Units: Year [0,?]  
The frequency with which output is stored.
- (37) Sobremortalidad por calor=  
((Población urbana\*Tasa envejecimiento)\*Tasa de casos de estrés por calor de 65 años  
y más  
) /1000  
Units: Personas/Year
- (38) Superficie mitigante=  
Superficie Urbanizada\*Efecto de incentivos  
Units: ha
- (39) Superficie promedio de vivienda tipo= 0.01  
Units: ha/viviendas
- (40) Superficie rural= INTEG ( -Urbanización,  
174800-1848)  
Units: ha
- (41) Superficie techo verde= 0  
Units: Dmnl
- (42) Superficie Urbanizada= INTEG ( Urbanización,  
1484)  
Units: ha

- (43) Superficie vegetal=  
 (Superficie mitigante\*Porcentaje de superficie vegetal)+(Superficie techo verde  
 \*Total viviendas\*Superficie promedio de vivienda tipo)  
 Units: ha
- (44) Superficie vegetal sana=  
 Porcentaje salubre\*Superficie vegetal  
 Units: ha
- (45) Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más = WITH LOOKUP (  
 Incremento en la temperatura+Temperatura base),  
 ((-10,0)-(-40,1)],(-10,0.9),(-5,0.4),(0,0.15),(5,0.1),(10,0.05),(20,0),(  
 30,0.05),(32,0.1),(34,0.15),(36,0.4),(38,0.65),(40,1) )  
 Units: 1/Year
- (46) Tasa de incremento= 0.053  
 Units: 1/Year
- (47) Tasa de urbanización=  
 IF THEN ELSE( Déficit de Superficie>0 , (Déficit de Superficie/Urbanización habitacional  
 )\*Tasa déficit, 0.0003 )  
 Units: 1/Year
- (48) Tasa déficit= 1  
 Units: 1/Year
- (49) Tasa envejecimiento=  
 Población de personas de 65 años y más inicial/Población urbana  
 Units: Dmnl
- (50) Temperatura base= 25  
 Units: °C
- (51) Tiempo de retraso= 1  
 Units: Year
- (52) TIME STEP = 1  
 Units: Year [0,?]  
 The time step for the simulation.
- (53) Total viviendas=Urbanización habitacional\*Superficie promedio de vivienda tipo  
 Units: viviendas
- (54) Urbanización= Superficie rural\*Tasa de urbanización  
 Units: ha/Year
- (55) Urbanización habitacional=  
 Superficie Urbanizada\*Porcentaje de superficie urbana destino habitacional  
 Units: ha

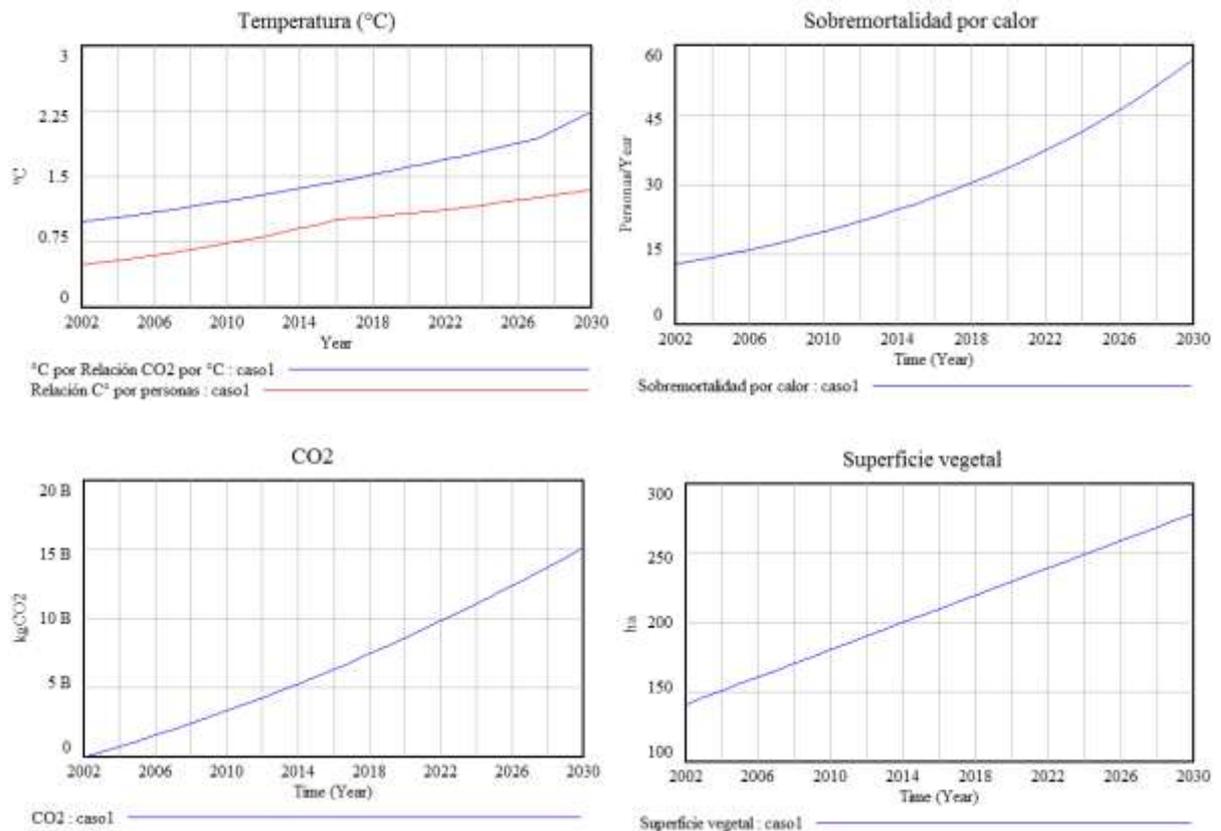
## Simulación de alternativas

Para trabajar con el modelo se tendrá en consideración la SUHI y la AUHI, y se variaran las variables relacionadas con la mitigación, es decir, el consumo eléctrico, la creación de superficies verdes y superficies mitigantes artificiales.

Como horizonte de simulación se considerará el periodo entre los años 2002 a 2030 (28 años).

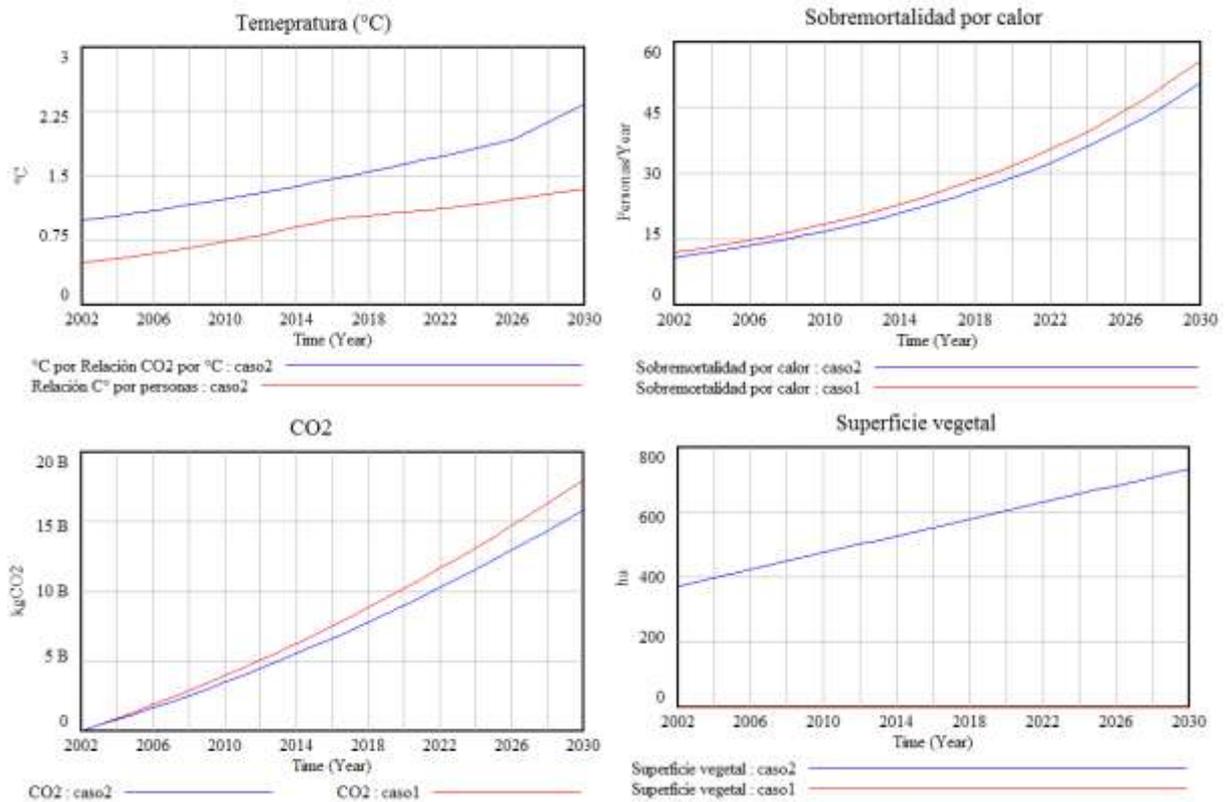
### SUHI (caso1) sin estrategias mitigantes (Simulación Caso 1)

La SUHI se presenta de día y de noche, la máxima intensidad la presenta en el día. Por lo que consideraremos imprescindible la variable vehicular y el consumo eléctrico. Además pensamos en una pick de tráfico y temperatura máxima en un día de calor, esto nos hará variar la Temperatura base y la cantidad de emisiones.



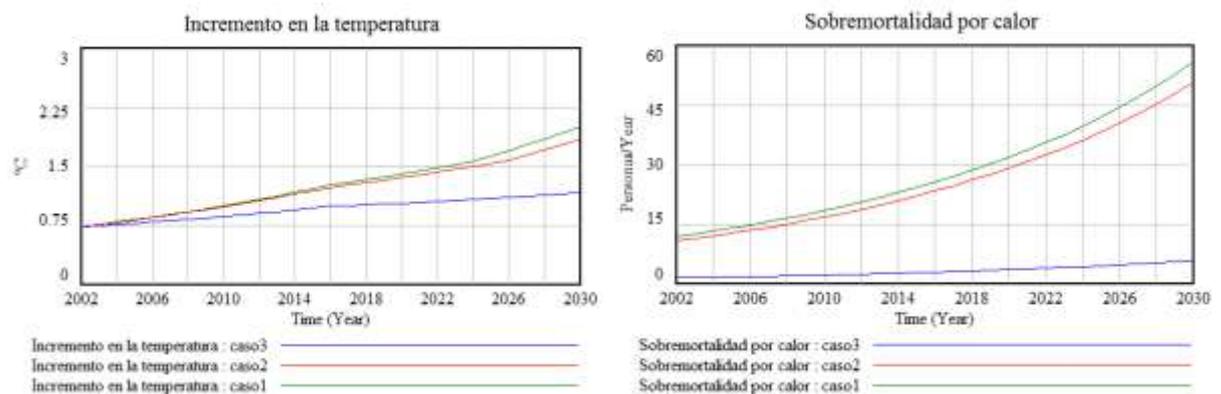
### SUHI (caso2) con estrategias mitigantes

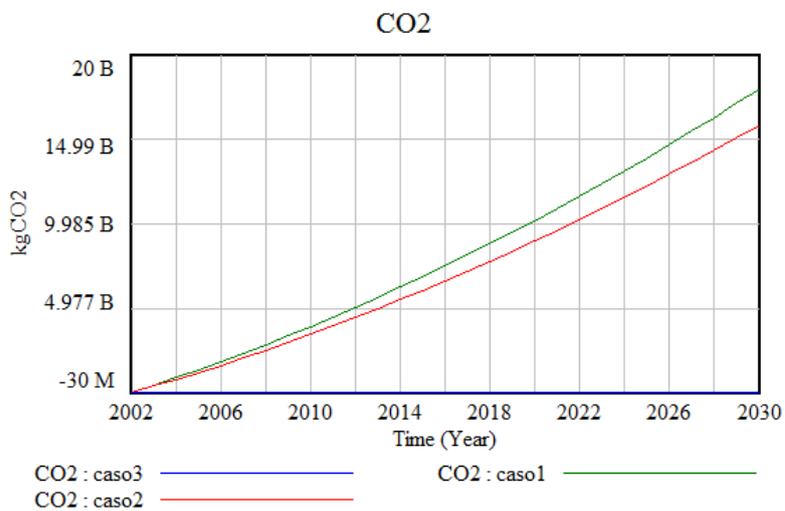
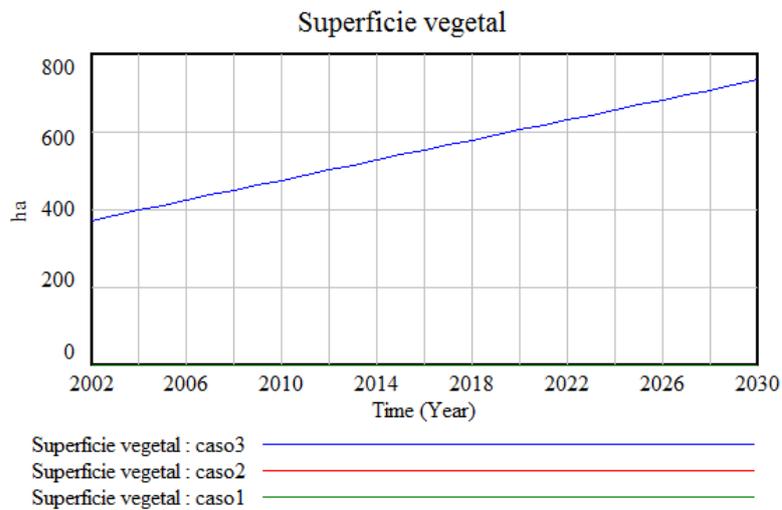
Se incorporará al 50% de las viviendas superficie de techo verde.



AUHI (caso3) con estrategias mitigantes

La AUHI se presenta al atardecer, la temperatura por efecto de la radiación a descendido. El flujo vehicular y el consumo eléctrico disminuyen. Lo anterior nos hará variar la Temperatura base y la cantidad de emisiones.





## Resultados

- d) ¿Qué elementos tienen mayor impacto sobre los efectos en salud humana y medioambiental urbana en el modelo de la isla de calor?

La simulación muestra evidentemente que la población es responsable de la mayor parte de sus problemas al no prever los cambios y sus consecuencias sobre el entorno. Los elementos de mayor impacto se relacionan con la tasa de urbanización y las cubiertas vegetales como parte del entorno y como estrategias de mitigación sostenibles.

- e) ¿Qué elementos e interacciones tienen en común?

La isla de calor urbano tiene como elementos común la población, la superficie urbanizada y las actividades propias que contribuyen a las emisiones de CO2.

- f) ¿Qué alternativas de mitigación son más eficientes y sostenibles en la mitigación de los efectos de la isla de calor en salud humana y medioambiental urbana?

Sin lugar a dudas la cubierta vegetal es más sostenible ya que disminuye las emisiones, el consumo energético requerido para el enfriamiento.

## Conclusiones

---

Las investigaciones sobre la isla de calor urbano tienen tres líneas de investigación definidas. El fenómeno de la isla de calor urbano es un fenómeno estudiado hace bastantes años. Las causas y consecuencias están claramente establecidas. Los esfuerzos en la mitigación están orientados en el descenso de las temperaturas, estas estrategias se pueden clasificar en naturales y artificiales. Sin embargo las naturales son más sostenibles en el tiempo.

Es posible modelar los efectos de la isla de calor urbano sobre la población y el entorno. El proceso de crear un modelo de simulación no es un proceso sencillo.

## Referencias

---

- Alberdi, J.C., Palomares, J.C.G., 2005. Mortalidad en la ciudad de Madrid durante la ola de Calor del verano de 2003. *Geofocus Rev. Int. Cienc. Tecnol. Inf. Geográfica* 2–.
- Alchapar, N.L., Correa, E.N., Cantón, M.A., 2012. Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. *Ambiente Construido* 12, 107–123.
- Basu, R., Samet, J.M., 2002. Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Epidemiol. Rev.* 24, 190–202.
- Carreras, C., Sabí, J., Martín Vide, J., Marín Ramos, M., Moreno, M. del C., 1990. Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona. Presented at the Documents d'anàlisi geogràfica.
- Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, R., Toccaceli, V., Vichi, M., Beltrano, C., Perini, L., 2005. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. *Environ. Res.* 98, 390–399.
- Fernández García, F., 2009. Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid.
- Gaffin, S.R., Khanbilvardi, R., Rosenzweig, C., 2009. Development of a Green Roof Environmental Monitoring and Meteorological Network in New York City. *Sensors* 9, 2647–2660.
- García, F.F., Martilli, A., 2012. El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Indice Rev. Estadística Soc.* 21–24.
- Gómez Acebo, I., 2010. Efecto de las temperaturas sobre la mortalidad en la comunidad autónoma de cantabria. adecuación del protocolo de prevención en población de riesgo - Tesis - tesis.com.es [WWW Document]. URL <http://tesis.com.es/documentos/efecto-temperaturas-mortalidad-comunidad-autonoma-cantabria-adequacion-protocolo/> (accessed 8.5.13).
- Jusuf, 2009. Development of empirical models for an estate level air temperature prediction in Singapore.
- Martín García, J., 2004. Sysware. Barcelona. <http://dinamica-de-sistemas.com>
- Martín García, J., 2006. Theory and practical exercises of system dynamics. Juan Martín García, [Barcelona].
- Navarro Vera, J.R., Ortuño Padilla, A., 2011. Aproximación a la génesis de la contribución de la densidad en la noción de “ciudad compacta”. *EURE Santiago* 37, 23–41.
- Oke, T.R., 2006. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites (Reporte No. 81), Instruments and observing methods. World Meteorological Organization.
- Romero Aravena, H., Molina, M., Vásquez Fuentes, A., Smith, P., 2008. El clima urbano del Puerto de Valparaíso: construcción social del espacio en ciudades costeras. [WWW Document]. URL <http://www.captura.uchile.cl/handle/2250/5616> (accessed 7.18.13).
- Silvia Herrera L.J., 2005. Fijación de CO2 por parte de los árboles urbanos.
- Sosa, M., Siem, G., 2004. manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico, 2004th ed.
- Tamini, I., 2010. Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. Madrid.
- Wan, W.C., Hien, W.N., 2012. A Study on the Effectiveness of Heat Mitigating Pavement Coatings in Singapore.

## Anexos

---

### Bucles

---

Los bucles del modelo son:

- I. Población urbana, Demanda de superficie, Déficit de superficie, Tasa de Urbanización, Urbanización, Superficie urbanizada, Urbanización habitacional, Total de viviendas, Factor de mitigación, Consumo eléctrico, Relación de emisiones por kwh por CO2, Emisión, CO2, °C por Relación CO2 por °C, Incremento en la temperatura, Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más, Sobremortalidad por calor.
- II. Población urbana, Demanda de superficie, Déficit de Superficie, Tasa de urbanización, Urbanización, Superficie Urbanizada, Urbanización habitacional, Total viviendas, Superficie vegetal, Superficie vegetal sana, Absorción, CO2, °C por Relación CO2 por °C, Incremento en la temperatura, Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más, Sobremortalidad por calor.
- III. Población urbana, Demanda de superficie, Déficit de Superficie, Tasa de urbanización, Urbanización, Superficie Urbanizada, Urbanización habitacional, Total viviendas, Kms recorridos por Parque automotriz, Relación de emisiones por vehículos por CO2, Emisión, CO2, °C por Relación CO2 por °C, Incremento en la temperatura, Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más, Sobremortalidad por calor.
- IV. Población urbana, Demanda de superficie, Déficit de Superficie, Tasa de urbanización, Urbanización, Superficie Urbanizada, Urbanización habitacional, Total viviendas, Consumo eléctrico, Relación de emisiones por kwh por CO2, Emisión, CO2, °C por Relación CO2 por °C, Incremento en la temperatura, Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más, Sobremortalidad por calor.
- V. Población urbana, Demanda de superficie, Déficit de Superficie, Tasa de urbanización, Urbanización, Superficie Urbanizada, Superficie mitigante, Factor de mitigación, Consumo eléctrico, Relación de emisiones por kwh por CO2, Emisión, CO2, °C por Relación CO2 por °C, Incremento en la temperatura, Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más, Sobremortalidad por calor.
- VI. Población urbana, Demanda de superficie, Déficit de Superficie, Tasa de urbanización, Urbanización, Superficie Urbanizada, Superficie mitigante, Superficie vegetal, Superficie vegetal sana, Absorción, CO2, °C por Relación CO2 por °C, Incremento en la temperatura, Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más, Sobremortalidad por calor.
- VII. Población urbana, Demanda de superficie, Déficit de Superficie, Tasa de urbanización, Urbanización, Superficie Urbanizada, Factor de mitigación, Consumo eléctrico, Relación de emisiones por kwh por CO2, Emisión, CO2, °C por Relación CO2 por °C, Incremento en la temperatura, Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más, Sobremortalidad por calor.
- VIII. Población urbana, Relación C° por personas, Incremento en la temperatura, Tasa de casos de estrés por calor de 65 años y más, Sobremortalidad por calor.
- IX. Población urbana, Población de personas de 65 años y más, Tasa envejecimiento, Sobremortalidad por calor.
- X. Población urbana, Tasa envejecimiento, Sobremortalidad por calor.
- XI. Población urbana, Incremento vegetativo.
- XII. Población urbana, Sobremortalidad por calor.



<http://dinamica-de-sistemas.com/>

Distribuidor Oficial Vensim:

<http://atc-innova.com/>

## Libros

## Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



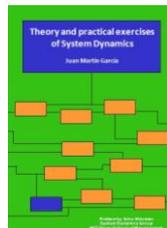
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)