



FORMA3T

Plataforma para estimar temperaturas microurbanas

Herramienta desarrollada por:

Dra. María Belén Sosa

INVESTIGADORA INAHE - CONICET

Dra. Erica Correa

INVESTIGADORA INAHE - CONICET

Dra. Stella Maris Donato

CPA INAHE - CONICET

Lic. Dario Jaime

CPA INAHE - CONICET

FORMA3T

La herramienta web FORMA3T fue desarrollada para estimar las temperaturas del aire exterior durante el periodo de verano. La herramienta permite conocer los valores de la temperatura máxima, mínima y promedio; y ofrece la posibilidad de comparar y analizar el comportamiento considerando variaciones en la forma del conjunto urbano tanto en plano como en volumen.

¿En qué consiste?

FORMA3T se basa en ecuaciones derivadas de modelos estadísticos robustos, creadas para estimar la temperatura exterior de diversas formas urbanas de baja densidad. La plataforma permite a los usuarios consultar y comparar tanto situaciones actuales como escenarios hipotéticos que incorporan dos estrategias de refrescamiento urbano validadas especialmente para ciudades de climas áridos y cálidos: materiales fríos y forestación en calles.

Esta información es crucial para diseñar barrios que reduzcan la necesidad de energía para refrigeración en viviendas, fomentando la transición energética y el desarrollo de urbanizaciones sostenibles en zonas de climas áridos. De este modo, FORMA3T contribuye a planificar y diseñar barrios más resilientes frente al calor, especialmente en entornos áridos, fomentando un futuro más sostenible y eficiente en el uso de recursos.

Usos y Aplicaciones

La herramienta web FORMA3T, es de utilidad para gobiernos locales, urbanistas, desarrolladores inmobiliarios, investigadores, y académicos; ya que proporciona datos de fácil lectura e interpretación que permiten contrastar y analizar las variaciones térmicas que se relacionan con la forma de un barrio. Esto con el fin de que cada sector pueda tomar decisiones informadas, optimizar recursos, reducir el impacto ambiental, y fomentar la construcción y rehabilitación de barrios que mejoren la calidad de vida de los habitantes en áreas urbanas.

Manual de Usuario - FORMA3T

Plataforma para estimar temperaturas microurbanas

Bienvenido a la Plataforma FORMA3T

Esta herramienta web te permite estimar la temperatura del aire exterior para diferentes formas urbanas de baja densidad. Esto contribuye a comprender cómo varía el comportamiento térmico a escala de barrio -recorte espacial de 500 x 500m-, dependiendo del diseño, la morfología y la distribución.

Tabla de Contenidos

1. Acceder a la herramienta web
2. Conocer los parámetros urbanos
3. Estimar la temperatura del aire exterior
4. Conocer el fundamento matemático
5. Rangos límite de diseño que validan la herramienta
6. Contacto

1. Acceder a la herramienta web

Para comenzar a utilizar la herramienta web, abre tu navegador y visita la URL. Al ingresar, verás la pantalla principal que tiene dos opciones de estimación denominadas "Base" u "Optimizado". En cada una de las pantallas encontrarás un panel de parámetros e indicadores urbanos para seleccionar en formato desplegable, y otros para completar dentro de los rangos indicados.

Los parámetros con opciones desplegables son: Trama, Orientación, Altura de la vivienda, y Ancho de calle. Por otra parte, los parámetros para introducir datos dentro del rango indicado son: Factor vista de cielo o Sky View Factor, Superficie construida, Superficie libre, Factor de ocupación. Las estimaciones dentro de la sección "Base" consideran una realidad construida que no contempla forestales de alineación en las calles, ni materiales que contribuyan a refrescar el ambiente exterior (es decir con valores de albedos no óptimos para la ciudad de estudio). Por otra parte, la sección "Optimizado" considera que estas dos estrategias están incorporadas a los diseños urbanos, es decir árboles de alineación implantados de manera regular cada 6 m, y materiales con valores de albedos óptimos para una ciudad de clima árido y cálido.

Las referencias y mayor información de estudios previos que avalan estas estrategias se pueden descargar de los siguientes links:

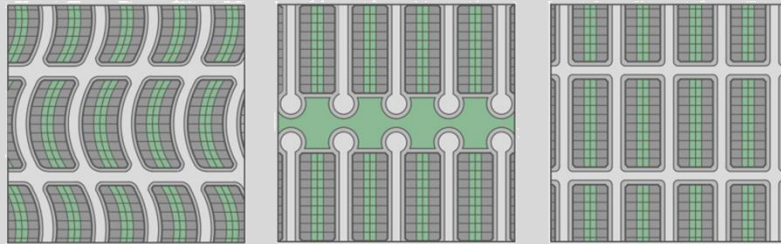
Sosa, M. Belén, Correa, Erica y Cantón, M. Alicia (2020). Eficacia de estrategias de disminución del calentamiento urbano. Estudio para una ciudad de clima árido. *Informes de la Construcción*, vol. 559. <https://doi.org/10.3989/ic.66662>

Sosa, M. Belén, Correa, Erica y Cantón, M. Alicia (2017). Urban grid forms as a strategy for reducing heat island effects in arid cities. *Sustainable Cities and Society*, vol. 32, 547-556. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.003>

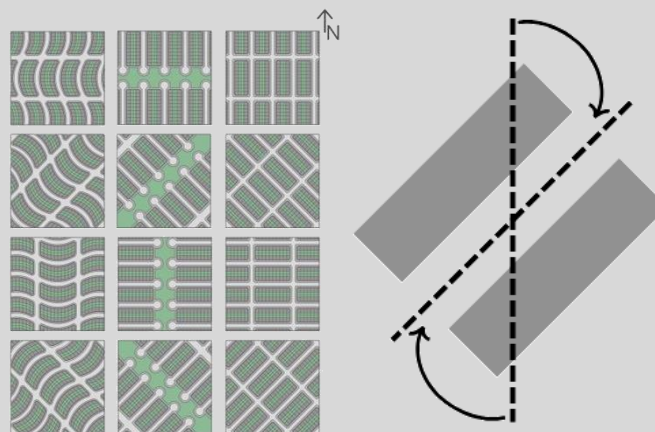
2. Conocer los parámetros urbanos

Descripción síntesis de las variables que incluyen los modelos predictores.

- **TRAMA URBANA:** concepto que engloba y se asocia a las características morfológicas de una ciudad, definida por la disposición y distribución de calles, edificios, y espacios libres en un área determinada. Esta herramienta contempla tres formas de tramas urbanas: orgánica, racional y cul-de-sac.



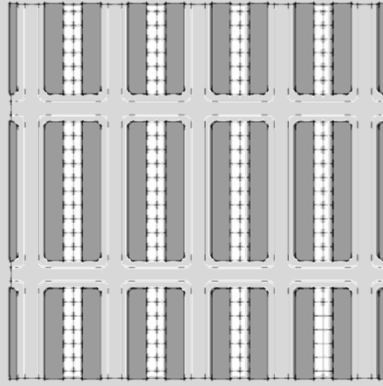
- **ORIENTACIÓN:** posición de la trama urbana con referencia a los puntos cardinales. Esta herramienta contempla cuatro posibles orientaciones de trama: Norte-Sur, Este-Oeste, Noreste-Suroeste, Noroeste-Sureste.



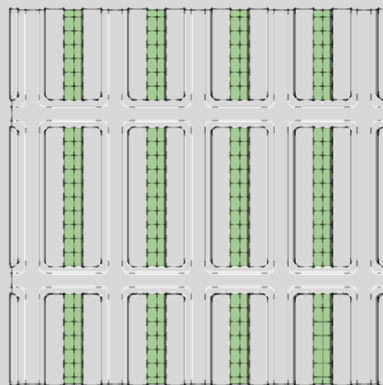
- **H/W:** indicador que representa la relación entre la altura de la edificación (H) y el ancho de la calle (W) (unidad de medida adimensional).



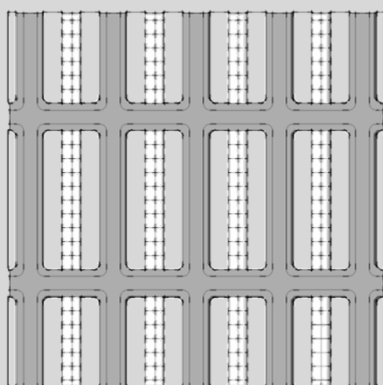
- **SUPERFICIE CONSTRUIDA:** superficie construida en un área determinada (unidad de medida m²).



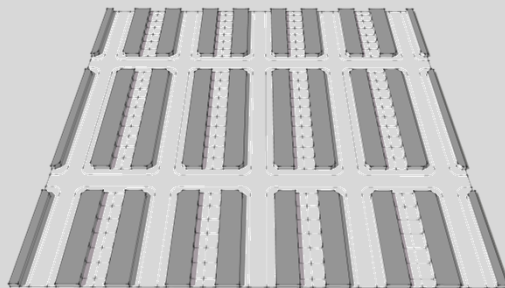
- **SUPERFICIE LIBRE:** superficie libre -sin construcción- en un área determinada (unidad de medida m^2).



- **SUPERFICIE CALLE:** superficie de las calles en un área determinada (unidad de medida m^2).



- **FACTOR DE OCUPACIÓN TOTAL (FOT):** coeficiente que indica el volumen construido en un área determinada (unidad de medida adimensional).



- **FACTOR DE VISIÓN DE CIELO -Sky View Factor- (SVF):** parámetro que expresa para un punto de observación la relación entre el área visible y la porción de cielo cubierta por distintos componentes del medio ambiente urbano o rural -topografía, edificios, árboles- (unidad de medida adimensional entre 0 y 1).



3. Estimar la temperatura del aire exterior

Paso 1. Seleccionar la sección de trabajo: Base u Optimizado

- En la parte superior de la página, encontrarás dos botones que te permiten ingresar a cada sección de estimación. Escoja la opción donde prefiera trabajar para conocer los parámetros solicitados.



Paso 2. Introducir los valores en cada parámetro

- Una vez seleccionada la sección donde trabajar, puedes seleccionar los parámetros con opciones desplegables: tipo de trama, la orientación principal de calle, la altura de las viviendas y el ancho de calle; y luego los parámetros donde deber ingresar un valor que esté dentro del rango de validez indicado: Factor vista de cielo, Superficie construida, Superficie libre, y Factor de ocupación, deberás
- En caso de ingresar un valor en los parámetros fuera del rango, la herramienta te indicará el error.

Inicio

Bienvenidos

Manual

FORMA3T

FORMA3T: Estimador de temperaturas microurbanas

Base

Optimizado

Trama:

2

Racional

Orientación:

2

Norte-Sur

Altura de la vivienda:

3 m

Ancho de calle:

16 m

Factor vista de cielo o Sky View Factor (0.49 a 0.99):

2

Superficie construida (20855 a 30780 m²):

2

Superficie libre (19770 a 35606 m²):

2

Factor de ocupación (0.25 a 0.74):

2

Estimar

Paso 3. Estimar la temperatura del aire exterior

- En la plataforma podrás visualizar los valores de temperatura máxima, mínima y promedio del diseño urbano ingresado.
- Podrás estimar varias combinaciones, la plataforma te permite visualizarlas en el panel derecho.

Inicio

Bienvenidos

Manual

FORMA3T

FORMA3T: Estimador de temperaturas microurbanas

Base

Optimizado

Trama:

2

Racional

Orientación:

2

Norte-Sur

Altura de la vivienda:

3 m

Ancho de calle:

16 m

Factor vista de cielo o Sky View Factor (0.49 a 0.99):

0.50

Superficie construida (20855 a 30780 m²):

25000

Superficie libre (19770 a 35606 m²):

25000

Estimar

Temperatura máxima: 39.5 °C

Temperatura mínima: 25.8 °C

Temperatura promedio: 31.3 °C

Estimaciones

Trama: Racional, Orientación: Norte-Sur

Altura de la vivienda: 3 m, Ancho de calle: 16 m

SVF: 0.5, Superficie construida: 25000 m²

Superficie libre: 25000 m², Factor de ocupación: -

T máx: 39.5°C, T mín: 25.8°C, T prom: 31.3°C

Trama: Racional, Orientación: Norte-Sur

Altura de la vivienda: 3 m, Ancho de calle: 16 m

SVF: 0.5, Superficie construida: 22000 m²

Superficie libre: 35000 m², Factor de ocupación: 0.5

T máx: 41.8°C, T mín: 28.4°C, T prom: 35.1°C

Trama: Racional, Orientación: Norte-Sur

Altura de la vivienda: 3 m, Ancho de calle: 16 m

SVF: 0.5, Superficie construida: 22000 m²

Superficie libre: 35000 m², Factor de ocupación: -

T máx: 40.0°C, T mín: 28.2°C, T prom: 34.1°C

Paso 4. Contrastar resultados entre diseños

- La plataforma te permite contrastar las estimaciones de ambas secciones, sin importar en cuál de ellas estés trabajando.

4. Conocer el fundamento matemático

FORMA3T trabaja con ecuaciones obtenidas de modelos estadísticos que tomaron como insumo datos de 480 simulaciones validadas en el software microclimático Envi-MET. El conjunto de variables utilizadas para la selección del modelo estadístico fue relevado para el desarrollo de una tesis doctoral (Sosa, 2018) y está conformado por 3 variables que se desean predecir, Temperatura máxima (TMAX), Temperatura promedio (TPROM) y Temperatura mínima (TMIN), junto con 9 variables que caracterizan las diversas formas urbanas.

El modelo estadístico que se utilizó para ajustar los datos es Análisis de la Covarianza (ANCOVA), que combina características del ANOVA y el análisis de regresión para examinar las diferencias entre grupos mientras controla el efecto de una o más variables continuas, también conocidas como covariables. Este modelo, permite ajustar las medias de los grupos en función de las covariables, lo que proporciona una mayor precisión al eliminar parte de la varianza no deseada que proviene de las covariables. Al controlar estos factores adicionales, podemos obtener una mejor estimación del efecto de las variables independientes en la variable dependiente.

Se ajustaron modelos ANCOVA por separado para cada una de las variables dependientes o respuestas (TMAX, TPROM y TMIN), tomando como variables independientes las variables de forma. Estas últimas se separan en factores: trama (T) y orientación (O); y covariables: relación ancho-alto (H/W), superficie construida (Sco), superficie libre (SL), superficie calle (Sc), volumen construido (V), factor de visión de cielo (SVF) y factor de ocupación de suelo (FOT). Para la variable trama se consideraron 3 niveles: rectangular (TR), orgánica (TO) y cul-de-sac (TC); y para orientación 4 niveles: N-S (O1), NO-SE (O2), E-O (O3), NE-SO (O4). Respecto de las covariables, debido a que presentan rangos de valores diferentes, fueron estandarizadas restando a cada una su mediana y dividiéndola por la desviación mediana absoluta (MAD).

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa R versión 4.3.2. También se utilizó el método de selección de variables Forward y Stepwise para determinar las variables independientes que conforman cada uno de los modelos, considerando como criterio de selección de modelos el que presenta menor valor de Criterio de Información de Akaike (AIC). En el caso general, el AIC tiene la siguiente expresión:

$$AIC = 2k - 2\ln(L)$$

Siendo: k el número de parámetros en el modelo estadístico, y L el máximo valor de la función de verosimilitud para el modelo estimado.

AIC maneja un *trade-off* entre la bondad de ajuste del modelo y la complejidad del modelo. No solamente recompensa la bondad de ajuste, sino también incluye una penalidad, que es una función creciente del número de parámetros estimados. Esta penalización desalienta el sobreajuste. También se calculó el Criterio de Información Bayesiano (BIC), resultando en la misma selección de modelos.

Finalmente, sobre los modelos seleccionados, se efectuaron las pruebas de significancia del modelo, de significancia de los coeficientes del mismo y las pruebas de adecuación del modelo: prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para los residuos de los modelos y prueba de Bartlett para verificar la homogeneidad de las varianzas. En todos los casos estas pruebas

mostraron la adecuación de los modelos seleccionados como así también el cumplimiento de los supuestos con un nivel de significación

Las ecuaciones finales, con las que cuenta el software, son:

Modelos para el escenario Base

Modelo Base Máxima

$$R^2 = 0.90$$

Ecuación del modelo:

$$TMAX^{\wedge} = 41.43 - 0.50T0 + 0.27TR - 1.33O2 + 0.39O3 + 0.85O4 \\ + 0.17 \left(\frac{SC - 16387}{4538.98} \right) - 0.51 \left(\frac{FOT - 0.435}{0.214977} \right)$$

Modelo Base Mínima

$$R^2 = 0.74$$

Ecuación del modelo:

$$TMIN^{\wedge} = 27.17 + 0.44T0 + 0.81TR + 0.49O2 + 0.34O3 + 0.26O4 \\ + 0.03 \left(\frac{HW - 0.195}{0.103782} \right) - 0.53 \left(\frac{Sco - 25949}{5315.121} \right)$$

Modelo Base Promedio

$$R^2 = 0.89$$

Ecuación del modelo:

$$TPROM^{\wedge} = 33.76 - 0.88T0 - 0.08TR - 0.39O2 + 0.54O3 + 0.48O4 \\ + 0.90 \left(\frac{HW - 0.195}{0.103782} \right) - 0.19 \left(\frac{SL - 28728}{5622.019} \right) + 0.48 \left(\frac{SC - 16387}{4538.98} \right) \\ + 0.95 \left(\frac{SVF - 0.93}{0.081543} \right)$$

Modelos para el escenario Optimizado

Modelo Optimizado Máxima

$$R^2 = 0.76$$

Ecuación del modelo:

$$TMAX^{\wedge} = 37.97 + 0.41T0 - 0.21TR - 0.40O2 + 0.31O3 + 0.51O4 \\ - 0.58 \left(\frac{HW - 0.195}{0.103782} \right) - 1.09 \left(\frac{Sco - 25949}{5315.121} \right) + 0.26 \left(\frac{SL - 28728}{5622.019} \right) \\ - 1.17 \left(\frac{SVF - 0.62}{0.096369} \right)$$

Modelo Optimizado Mínima

$$R^2 = 0.91$$

Ecuación del modelo:

$$TMIN^{\wedge} = 25.04 + 0.60T0 + 0.65TR + 0.72O2 + 0.31O3 + 0.58O4 \\ + 0.35 \left(\frac{HW - 0.195}{0.103782} \right) - 0.71 \left(\frac{Sco - 25949}{5315.121} \right)$$

Modelo Optimizado Promedio

$$R^2 = 0.81$$

Ecuación del modelo:

$$TPROM^{\wedge} = 30.88 + 0.24T0 + 0.03TR + 0.16O2 + 0.48O3 + 0.44O4 \\ - 0.63 \left(\frac{Sco - 25949}{5315.121} \right) - 0.21 \left(\frac{SVF - 0.62}{0.096369} \right)$$

5. Rangos límite de diseño que validan la herramienta

Para que los datos de salida que estima FORMA3T sean válidos, debes respetar estos valores mínimos y máximos de cada variable. Dentro de estos rangos puedes diseñar y testear cualquier forma de trama, y sus combinaciones.

Variable	Máximo	Mínimo
SVF	0,99	0,49
SUP. CONSTRUIDA (m ²)	30780	21710
SUP. LIBRE (m ²)	35606	19770
FOT	0,74	0,26

6. Contacto

Si tienes alguna pregunta o necesitas asistencia, puedes ponerte en contacto a través de las siguientes opciones de correo electrónico:

- djaime@mendoza-conicet.gob.ar
- msosa@mendoza-conicet.gob.ar

¡Gracias por utilizar FORMA3T!

Estamos comprometidos en ofrecerte herramientas para que puedas analizar y comprender las temperaturas microurbanas.