



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



## Agradecimientos

Esta página está especialmente dedicada a aquellas personas que han logrado que esté orgullosa del trabajo que he realizado, de la persona en la que me he convertido y de haber podido ser capaz de llegar tan lejos.

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor, *David Alfonso Solar*, por haberme permitido formar parte del primer proyecto de toda mi carrera. Ha sido todo un placer haber colaborado con el Proyecto Grow Green, y más placer ha sido, haber podido aprender de ti, muchas gracias por haberme ayudado tanto hasta el último momento, espero y deseo que sigas contando con mi colaboración en futuros trabajos.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis amigas, en especial a *Cristina Gómez Pérez* y *Alba Montaner Calabuig*, por haberme brindado su amistad en estos cuatro años. Ha sido maravilloso vivir esta experiencia con vosotras y pase lo que pase siempre podréis contar con mi amistad y mi cariño. Por último, a mi amiga *Anna Picazo San Juan*, por haberme ayudado infinidad de veces y por ser una de las mejores amigas que tengo.

Quiero agradecerle y dedicarle también este trabajo a *Borja Soriano March*, por creer siempre en mí y darme la confianza que a veces me falta, pero, sobre todo enseñarme a querer incluso en la otra parte del mundo. Quiero decirte que eres mi ejemplo a seguir y admiro de todo corazón tu constancia y fuerza de voluntad, sé que llegarás lejos en esta vida y ojalá pueda seguir estando a tu lado para verlo. No me olvido de tu familia que, ahora ya es mía también, gracias por cuidarme y quererme como a una más.

Por último y no menos importante a mi queridísima familia, *mi madre, mis dos hermanos y mi prima*, por ser toda mi vida. Me siento muy afortunada de teneros día a día a mi lado, de poder crecer y aprender con vosotros, soy quien soy gracias a todos los valores que me habéis enseñado y todo el amor que me dais. Este trabajo es por y para vosotros, espero que siempre me acompañéis en cada logro que consiga, pues es vuestro también, os quiero.

Estaré eternamente agradecida a todos vosotros.



## RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado identifica los principales indicadores para cuantificar el Estrés Térmico y el Efecto Isla de Calor, empleando los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas de Valencia-Aeropuerto y Viveros durante los últimos cinco años, usando además el software Rayman para analizar las horas de desconfort y estrés térmico en Valencia. Tras esto, se concluye definiendo cuales son los principales parámetros termohigrométricos/atmosféricos que deben medirse en una red de monitorización del estrés térmico en la zona de estudio y, planteando además, futuras estrategias de alivio en dicha zona de acuerdo con el Proyecto Grow Green que, financiado por la Unión Europea dentro del programa H2020, busca promover la introducción de soluciones naturales para este tipo de problemas en el barrio de Benicalap.

**Palabras clave:** Estrés térmico, indicadores térmicos, Efecto Isla de Calor, red de monitorización, valores termohigrométricos, Proyecto Grow Green.

## ABSTRACT

This thesis identifies the main indicators to quantify the Thermal Stress and the Heat Island Effect, using the data provided by the Valencia-Airport and Viveros meteorological stations during the last five years, also using the Rayman software to analyse the hours of discomfort and thermal stress in Valencia. After this, it is concluded defining a monitoring network of the necessary thermo-hygrometric/weather parameters and proposing future strategies to relief heat stress in the study area according to the Grow Green Project, which, financed by the European Union within the H2020 program, promotes the introduction of natural solutions for this type of problems in the neighbourhood of Benicalap.

**Keywords:** Thermal stress, thermal indicators, Heat island effect, monitoring network, thermo-hygrometric values, Grow Green Project.

## ÍNDICE GENERAL

### Documentos contenidos en el Trabajo Fin de Grado:

- I Memoria.
- II Presupuesto.
- III Anexos.
- IV Planos.

## **ÍNDICE**

<b>1 . OBJETO DEL PROYECTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 . INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
2.1 Definición del estrés térmico en el individuo. ....	2
2.2 Consecuencias .....	3
2.3 Factores adicionales.....	3
2.4 Proyecto GROW GREEN .....	5
<b>3 . INDICADORES DEL ESTRÉS TÉRMICO.....</b>	<b>7</b>
3.1 Descripción de los parámetros termohigrométricos .....	7
3.2 Índices del clima térmico universal.....	8
3.3 Efecto Isla de Calor .....	19
<b>4. ESTUDIO DEL ESTRÉS TÉRMICO EN VALENCIA, BENICALAP.....</b>	<b>21</b>
4.1 Análisis de los indicadores basados en datos meteorológicos. ....	21
4.2 Análisis de los indicadores termofisiológicos. ....	38
4.3 Estudio del Efecto Isla de Calor (EIC).....	46
<b>5. DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE MEDIDA.....</b>	<b>52</b>
5.1 Parámetros de medida .....	52
5.2 Equipos comerciales .....	55
5.3 Distribución de los medidores.....	57
<b>6. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>60</b>
6.1 Síntesis de los resultados obtenidos.....	60
6.2 Rentabilidad del proyecto de cara al futuro. ....	61
<b>7.BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>64</b>



---

## **DOCUMENTO II: PRESUPUESTO**

---

- 1. PARTIDA 1: COSTE DE LA OBTENCIÓN DE LOS DATOS.**
- 2. PARTIDA 2: COSTE DEL PROCESADO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.**
- 3. PRESUPUESTO GENERAL.**

---

## **DOCUMENTO III: ANEXOS**

---

- 1. ANEXO I. IMAGEN DEL MEDIDOR KESTREL**
- 2. ANEXO II. IMÁGENES DEL TRABAJO REALIZADO EN CAMPO.**
- 3. ANEXO III. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Y ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN.**
- 4. ANEXO IV. CÓDIGO FUENTE USADO EN MATLAB.**
- 5. ANEXO V. EJEMPLO DEL FORMATO DE OBTENCIÓN DE VALORES MEDIANTE EL RAYMAN.**
- 6. ANEXO VI. METODOLOGÍA DEL CÁLCULO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS INDICADORES DE ESTRÉS TÉRMICO EN LOS CINCO AÑOS.**
- 7. ANEXO VII. ECUACIÓN DE FANGER DEL PMV.**

---

## **DOCUMENTO IV: PLANOS**

---

- 1. DISPOSICIÓN DE LOS MEDIDORES EN EL BARRIO DE BENICALAP.**

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Representación del espectro de la radiación solar.....	8
Figura 2 Caracterización de la temperatura efectiva a lo largo del año.....	12
Figura 3 Valor límite del WBGT en función del metabolismo.....	15
Figura 4 Porcentaje de insatisfechos del PMV.....	18
Figura 5 Clasificación de las horas de HI por calor.....	22
Figura 6 Clasificación de las horas representativas del HI por calor.....	22
Figura 7 Distribución de las horas de estrés térmico en los cinco años.....	23
Figura 8 Distribución de las horas de estrés térmico por el DI.....	25
Figura 9 Clasificación de todas las horas según el DI.....	25
Figura 10 Clasificación de las horas de disconfort por el Humidex.....	27
Figura 11 Clasificación de las horas según la Temperatura Efectiva.....	28
Figura 12 Clasificación de las horas según el WBGT.....	30
Figura 13 Clasificación de las horas del Wind Chill en los cinco años.....	31
Figura 14 Representación del 24/07/2015 según los tres indicadores.....	32
Figura 15 Horas de estrés térmico según los tres indicadores.....	32
Figura 16 Temperatura excedente respecto al valor límite de cada indicador para el medidor de Aeropuerto.....	33
Figura 17 Temperatura excedente respecto al valor límite de cada indicador para el medidor de Viveros.....	34
Figura 18 Representación del día 24/08/2012 según los tres indicadores.....	35
Figura 19 Horas de estrés térmico según los tres indicadores.....	35
Figura 20 Temperatura excedente respecto al valor límite de cada indicador para el medidor de Aeropuerto.....	36
Figura 21 Temperatura excedente respecto al valor límite de cada indicador para el medidor de Viveros.....	37
Figura 22 Zona 1 en la que se aplica la simulación del Rayman.....	39
Figura 23 Resultados del indicador PMV mediante el RayMan en la zona 1.....	40
Figura 24 Resultados del indicador PET mediante el RayMan en la zona 1.....	40
Figura 25 Resultados del indicador SET* mediante el RayMan en la zona 1.....	41
Figura 26 Resultados del indicador Pt mediante el RayMan en la zona 1.....	41
Figura 27 Zona 2.1 en la que se aplica la simulación del RayMan.....	42
Figura 28 Zona 2.2 en la que se aplica la simulación del RayMan.....	43
Figura 29 Resultados del indicador PMV mediante el RayMan en la zona 2.....	43
Figura 30 Resultados del indicador PET mediante el RayMan en la zona 2.....	44
Figura 31 Resultados del indicador SET* mediante el RayMan en la zona 2.....	44
Figura 32 Resultados del indicador Pt mediante el RayMan en la zona 2.....	45
Figura 33 Cuantificación de los días acontecidos como Efecto negativo de Isla de Calor.....	47
Figura 34 Distribución de los días según la diferencia de temperaturas mínimas.....	48
Figura 35 Representación del EIC el día 26/08/2014.....	50
Figura 36 Representación del EIC el día 14/05/2015.....	51
Figura 37 Sensores y elementos de protección de la estación de medida.....	57
Figura 38 Mapa de huella solar de Benicalap.....	59

## **ÍNDICE DE TABLAS**

<i>Tabla 1 Valores de clo según el tipo de atuendo.</i>	4
<i>Tabla 2 Clasificación del Índice de Calor.</i>	10
<i>Tabla 3 Caracterización de los valores del HI (°F) en función de T y HR.</i>	10
<i>Tabla 4 Clasificación de los valores del Discomfort Index.</i>	11
<i>Tabla 5 Clasificación de los valores del Humidex.</i>	12
<i>Tabla 6 Clasificación de los valores del WBGT.</i>	14
<i>Tabla 7 Caracterización de los valores del WCT.</i>	16
<i>Tabla 8 Clasificación de los valores del WCT.</i>	16
<i>Tabla 9 Clasificación de los valores del PMV.</i>	17
<i>Tabla 10 Clasificación general de los indicadores de estrés térmico.</i>	19
<i>Tabla 11 Ejemplo de varios días catalogados por DI.</i>	24
<i>Tabla 12 Ejemplo de varios días catalogados por Humidex.</i>	26
<i>Tabla 13 Ejemplo de varios días catalogados por WBGT.</i>	29
<i>Tabla 14 Ejemplo de días en los que se aprecia el Efecto negativo de Isla de Calor.</i>	47
<i>Tabla 15 Ejemplo de días en los que se aprecia el Efecto Isla de Calor.</i>	49
<i>Tabla 16 EIC el día 26/08/2014.</i>	49
<i>Tabla 17 EIC el día 14/05/2015.</i>	50
<i>Tabla 18 Equipos comerciales para la estación de medida.</i>	55

# MEMORIA

---

## 1. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto principal de este Trabajo Fin de Grado consiste en el estudio del estrés térmico en Valencia (Benicalap).

Se definen los siguientes objetivos del proyecto para su correcto desarrollo:

- Identificar y definir cuáles son los principales indicadores de estrés térmico y efecto isla de calor, como se calculan y qué datos o herramientas informáticas son necesarias para su evaluación.
- Determinar, en base a los indicadores seleccionados, el estrés térmico y efecto isla de calor en la ciudad de Valencia en los últimos cinco años.
- Definición de una red de monitorización de los parámetros necesarios para evaluar el estrés térmico.

---

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 Definición del estrés térmico en el individuo.

El ámbito principal de este trabajo corresponde al estudio del estrés térmico, el cual, consiste en la percepción de malestar a la que se encuentra sujeta una persona tras permanecer e interactuar en un ambiente sometido a unas condiciones límites de calor o frío. El efecto directo antes de llegar a esos valores límite, es una sobrecarga térmica a la que el organismo debe hacer frente para mantener la temperatura corporal equilibrada.

Si partimos de una definición de calor, como la transferencia de energía entre dos sistemas y al existir una diferencia de temperatura entre ambos, cuando exponemos al cuerpo humano a un ambiente muy hostil durante largos periodos de tiempo, se produce una acumulación o unas pérdidas excesivas de calor, dando lugar al fenómeno conocido como estrés térmico. Este calor se puede transmitir por conducción (contacto sin intercambio de materia), por convección (transmisión de calor entre el cuerpo y las partículas del aire), por radiación (la emisión e intercambio de ondas electromagnéticas de manera continuada y sin la necesidad de un medio físico) y por evaporación (debido a la evaporación del sudor, intercambiando calor entre la piel y el aire).

A la hora de interactuar con el medio, el organismo dispone de unos mecanismos de termorregulación para mantener la temperatura corporal en torno a los 37°C, encontrándose el individuo en su zona de confort. Esta herramienta fisiológica actúa cuando se producen unos desequilibrios en la temperatura interna corporal.

La sobrecarga térmica por exceso de calor, puede ocurrir en el momento en el que una persona se encuentra sometida constantemente a una temperatura y humedad elevada, (factores físicos), unido además al tipo de vestimenta y a su condición física y fisiológica, (factores personales), por tanto, dicha información es enviada desde las fibras nerviosas sensoriales al hipotálamo, el cual envía sustancias vasodilatadoras al cerebro para dilatar las arterias e iniciar así la sudoración con la finalidad de aliviar la tensión superficial a la que la piel está sometida.

Por el contrario, cuando un individuo se expone a temperaturas bajas (<10°C), ambientes con abundantes precipitaciones o a una combinación de factores que hacen que la temperatura corporal se sitúe por debajo de 36°C, la respuesta de estos mecanismos es reducir el flujo sanguíneo periférico para reducir la cantidad de sangre que llega a la piel y así evitar las pérdidas por conducción y convección.

---

## **2.2 Consecuencias**

Como se ha comentado previamente, el clima es un factor fundamental para garantizar la seguridad y salud de las personas y/o trabajadores. No obstante, a pesar de disponer de estos mecanismos de defensa, puede darse el caso de que el sistema termorregulador fracase en el proceso de mantener la temperatura corporal en torno a su valor óptimo.

Si la temperatura corporal alcanza valores inferiores de 35 °C, puede aparecer el fenómeno conocido como hipotermia, que comienza con una disminución de la temperatura corporal seguida de una disminución de la frecuencia respiratoria y cardíaca, a lo que el cuerpo responde produciendo escalofríos de forma automática con la intención de reactivar el metabolismo y así empezar a producir calor. Si los mecanismos compensatorios fracasan, el individuo puede llegar a perder la conciencia. En el momento en el que la temperatura corporal desciende de los 28°C, el hipotálamo deja de realizar su función básica y al alcanzar los 0°C se producen unos cristales de hielo que necrosan los tejidos corporales hasta producir la muerte del individuo.

El fenómeno contrario a la hipotermia es el conocido como hipertermia o choque de calor, y se da en el momento en el que la temperatura corporal aumenta desmesuradamente y supera su límite de confort. Los primeros síntomas que aparecen, son fuertes dolores de cabeza, mareos y náuseas, hasta llegar a una pérdida de conciencia, la frecuencia cardíaca se agrava y la presión arterial disminuye debido a la dilatación de los vasos sanguíneos para producir la sudoración y expulsar la sobrecarga de calor. Si la temperatura alcanza los 42-43°C se producen daños cerebrales que pueden ser irreversibles. A estos efectos se le añaden la deshidratación, donde se va perdiendo la capacidad de ir eliminando calor mediante la sudoración puesto que ya se habrá perdido un gran porcentaje de líquidos corporales, siendo el valor máximo alcanzable 3 l/h.

Otras damnificaciones, menos severas, que pueden perjudicar la salud, son: cambios en el humor, somnolencia, pérdidas en la destreza de los movimientos, mareos, náuseas, erupciones e irritaciones en la piel, agotamiento, contracciones musculares y síncope de calor, entre otras muchas.

## **2.3 Factores adicionales**

Otros factores que agravan la salud de las personas son:

El tiempo de exposición, ya que permanecer en ambientes desfavorables a pesar de no alcanzar situaciones de estrés térmico límite, hace que el cuerpo humano vaya acumulando grandes cantidades de calor, que a la larga pueden ocasionar los daños comentados anteriormente, además si a esto se le añade que los individuos estén realizando alguna actividad física, en el caso de climas

---

fríos se puede favorecer la situación de confort, pero en climas calurosos se acelera el consumo metabólico alcanzando antes la sobrecarga por exceso de calor.

La vestimenta que se utilice, también es un factor a tener en cuenta, puesto que, si se usa ropa poco transpirable y con una resistencia térmica elevada, más difícil resultará ceder el calor almacenado al medio, o en el caso opuesto si se utiliza ropa que ofrezca poca protección y poco aislamiento del frío, se aumentará el intercambio con el medio.

La unidad de medida “clo”, conocida como índice de indumento, equivale a una resistencia térmica de  $0.18 \frac{m^2 h C^{\circ}}{Kcal}$ , y proporciona información sobre las particularidades térmicas según el tipo de ropa utilizada. La tabla 1 presenta valores para distintas indumentarias [4]:

Tipo de atuendo	Valor de clo
Desnudo	0
Con ropa de verano	0.1
Ropa ligera (con fibras naturales)	0.5
Con ropa de invierno	1
Con ropa pesada	1.5

Tabla 1 Valores de clo según el tipo de atuendo.

Se puede hablar además de factores psicológicos, propios de cada persona, como su estado de ánimo, su estado emocional, su sensación de bienestar o malestar, cansancio etc.

Factores fisiológicos, como obesidad (debido a que un exceso de grasa puede hacer que el cuerpo actúe como un aislante térmico, además de producir grandes cantidades de calor sin realizar actividades muy severas), el estado de salud (puesto que enfermedades cardiovasculares, respiratorias, renales entre otras, impiden que el organismo pueda combatir de manera eficaz el exceso de calor), la edad (las personas con una edad avanzada son más propensas al fallo de las funciones básicas del organismo, por lo que pueden ser vulnerables a la sobrecarga térmica), la condición física (la capacidad del organismo de poder aclimatarse rápidamente a un ambiente, tolerando mejor las actividades en ambientes fatigosos), los trastornos relacionados con el calor (debido a que aquellas personas que se han visto afectadas por alguna patología sufrida por estrés térmico tienen una mayor posibilidad de volver a padecerla), consumo de estupefacientes (por pérdidas de líquidos, además, las respuestas básicas de los organismos termorreguladores se ven afectadas, pueden padecer también un aumento de la frecuencia cardíaca por lo que se intensifica el estrés padecido por el calor o la pérdida de calor en situaciones de frío), etc.



---

## 2.4 Proyecto GROW GREEN

Una vez advertidas las consecuencias directas de verse sometido a condiciones de estrés térmico, y conociendo el vínculo tan fuerte que hay entre el ser humano y el ambiente que lo rodea, el siguiente paso, consiste en analizar las condiciones climatológicas ambientales, su impacto sobre la salud humana y el desarrollo de estudios que minoricen los efectos malignos sobre ésta.

Esas son por tanto las líneas de actuación que van a abordarse en el presente trabajo, participando así con el objetivo del proyecto Grow Green.

Se trata de un proyecto europeo en el que colaboran ciudades como Valencia (España), Manchester (Reino Unido), Wroclaw (Polonia) y Bujan (China) y está financiado por H2020 (un programa europeo de búsqueda de innovación sostenible).

El objetivo de este Proyecto, en el caso de la ciudad de Valencia, es el desarrollo de soluciones medioambientales y urbanísticas basadas en fuentes naturales en el barrio de Benicalap [2]. Consiste en repoblar y ventilar mediante un cultivo de vegetación, bosquetes, sistemas de riego, reutilización de las aguas pluviales etc, para poder contribuir a largo plazo, y en la mayor medida posible a corto, en el bienestar de las personas y en la lucha contra el cambio climático.

Este proyecto, tiene una duración estimada de 5 años, durante los cuales, con una inversión de 3.8 millones de euros, se estudiarán y aplicarán medidas para conseguir su revitalización y dignificación del barrio. Según el concejal de Innovación y el vicepresidente de Las Naves, Berto Jaramillo, destaca el alcance como “un proyecto que cristaliza diversas líneas de trabajo de este consistorio: innovación social, lucha contra el cambio climático, atención a barrios olvidados durante muchos años, como el de Benicalap, y una inversión potente en la colaboración con la Unión Europea” [28].

Las líneas de actuación de este proyecto en los siguientes 5 años comenzarán con el estudio y diagnóstico del estrés térmico que ha habido y hay actualmente en Benicalap, posteriormente, se diseñarán posibles estrategias de verdeo, su ubicación y distribución en las zonas más convenientes. Una vez hecho esto, se procederá durante un mínimo de 3 años, mediante una red de monitorización, a la evaluación de como va mejorando el confort térmico en la zona, y ya concluyendo, como se contribuye al ahorro energético en el consumo de los edificios gracias a esta mejora del confort.

Las áreas del barrio de Benicalap en las que se va a poner en marcha dicho proyecto, son aquellas que se encuentran dentro del distrito *la Ciutat Fallera*, destacando sobre todo en las que haya un mayor abandono por parte del municipio, señalando *el Casino del Americano, la Alquería del Moro, la Alquería de la Torre* o *el grupo de Alquerías Lluna*, los cuales se encuentran en un estado de deterioro a pesar de su valor patrimonial, por lo que se buscará rehabilitarlas, si se dispone de permisos; y, por otro lado, mejorar aquellas que se encuentran en buen estado como es el caso del Parque de Benicalap, aumentando la cantidad de espacios verdes.

---

A día de hoy, Benicalap dispone del 9.8% de los 3.337.244 m<sup>2</sup> totales de áreas verdes que hay en la Comunidad Valenciana, con lo que gracias a este proyecto se pretende incrementar este porcentaje de cara al futuro.

El objetivo de este trabajo fin de grado con relación al proyecto Grow Green va a partir del análisis del estrés térmico apoyándose en los datos meteorológicos obtenidos de la estación de Valencia Aeropuerto y de la de Viveros, seguido de un análisis de como podría verse mejorado el confort en las diferentes zonas de estudio, con el emplazamiento de un arbolado urbano caduco, que disminuya la radiación incidente en estaciones veraniegas y ocurra lo contrario en épocas invernales debido a la caída del follaje, la ampliación de especies vegetales que contribuyan a mejorar los valores de humedad, albedo etc.

Con todas las medidas que el proyecto va a efectuar a lo largo de estos 5 años, se pretende lograr una mejora de la sensación de confort de cara al futuro.

---

### 3. INDICADORES DEL ESTRÉS TÉRMICO

#### 3.1 Descripción de los parámetros termohigrométricos

Hoy en día una de las labores que se realizan al hacer estudios meteorológicos es predecir situaciones adversas y responder con la activación de protocolos para atenuar su impacto. Para ello, se utilizan una serie de indicadores que miden y cuantifican el estrés térmico y ayudan a buscar soluciones que minimicen sus efectos.

Los parámetros básicos denominados “termohigrométricos” son parámetros de los que dependen dichos indicadores y son relativos a las condiciones ambientales. Aquellos que son extraídos de las estaciones de medida, los cuales son:

La Temperatura Seca, medida con un termómetro, es la temperatura a la que se halla el aire con el que los individuos intercambian el calor. El rango óptimo de temperatura ambiental está en torno a 20-22°C.

La Humedad, es la cantidad de agua contenida en el aire, y es inversamente proporcional a la transpiración, lo que significa que cuanto mayor humedad haya, menor será la transpiración del ser humano. Este parámetro se suele indicar en términos de humedad relativa, que es el porcentaje de humedad que se encuentra en el aire respecto al valor máximo que éste podría tener. Se mide mediante un higrómetro y sus valores ideales se encuentran alrededor del 50-60 %.

La Velocidad del Viento, medida mediante un anemómetro, garantiza que, para velocidades de viento elevadas, menor será la temperatura. Por el contrario, en aquellas zonas donde las temperaturas sean bastante elevadas (>37°C), el aire calienta en lugar de refrescar. Los valores más adecuados de velocidad del aire para garantizar el confort oscilan entre los 0.5 y 1.5 m/s.

La Radiación Solar, medida con un piranómetro, es la cantidad de energía por metro cuadrado que emite el Sol, y es recibida y absorbida por los objetos de manera directa, difusa o reflejada. Según su poder de penetración, podemos hablar de los rayos UVA de aproximadamente 360 nm y con un porcentaje de 39% de capacidad penetradora en las capas de la piel, la luz UVB con apenas el 0.1% y por último los UVC que, al ser absorbidos por la atmósfera, representa muy poco porcentaje de riesgo para la salud humana. Un elevado tiempo de exposición a la radiación solar tiene efectos nocivos para las personas, empezando por quemaduras solares y terminando en casos extremos con enfermedades como el cáncer cutáneo, melanomas etc. Por otra parte, están los rayos infrarrojos, de una longitud de onda de unos 800-5000 nm que poseen un escaso poder de penetración, pero si intervienen en los procesos de termorregulación y sudoración.

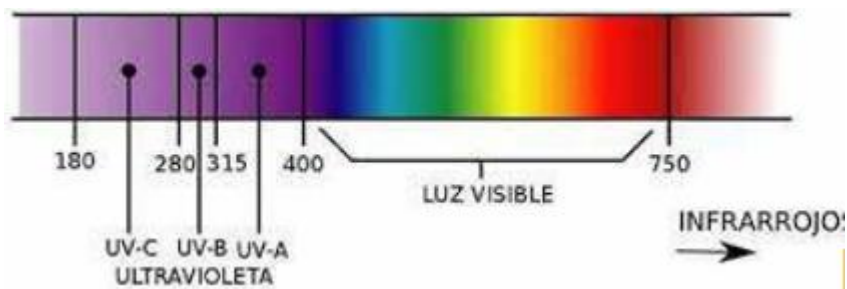


Figura 1 Representación del espectro de la radiación solar.

La Precipitación, medida con un pluviómetro y dada el  $l/m^2$ , permite controlar la cantidad de lluvia que ha habido en una zona. En aquellas ocasiones en las que ha habido mucha acumulación de calor y humedad, una abundante precipitación, ayuda a oxigenar el territorio afectado; sin embargo, en ambientes de baja temperatura o invernales, puede incrementarse la sensación de frío.

La Presión Atmosférica, determinada mediante un barómetro, normalmente en Pascales. Su utilidad radica en poder valorar las variaciones de presión y sus efectos en el cambio del temporal, puesto que bajas presiones ocasionan incrementos de temperatura y humedad que conlleva a frentes cálidos, por el contrario, altas presiones contribuyen a los frentes fríos.

### 3.2 Índices del clima térmico universal

A lo largo del último siglo, ha habido mucho interés en el estudio de la bioclimatología humana, la cual consiste en analizar como la fisiología humana se ve afectada por los diferentes componentes climatológicos. Para ello, se han ido buscando modelos y expresiones que describiesen el confort y estrés térmico resultante.

A principios del siglo veinte, se introdujo por primera vez el termómetro Kata, mediante el cual se iban tomando lecturas de temperatura húmeda y seca, y mediante análisis y experimentos con el túnel de viento se modelizaban unos patrones que describían la tasa de enfriamiento, llegándose a la conclusión que para enfriar una temperatura húmeda dependía solo de la velocidad del viento y la humedad, mientras que para la pérdida de calor de la temperatura seca, solo era necesario la velocidad del viento y la temperatura ambiente. A raíz de dicho experimento surgieron muchas más pruebas que nivelasen el estrés provocado por el calor, añadiendo más parámetros que posteriormente se comentarán.

---

Es por ello por lo que hoy en día los índices térmicos juegan un papel muy importante en los servicios meteorológicos tanto a nivel nacional como internacional.

Estos índices pueden ser clasificados en tres grandes grupos.

1→ Los llamados índices racionales, son aquellos cuyos cálculos están basados en la ecuación del balance de calor y dependen además de muchas variables, por ejemplo, el índice de estrés térmico para climas cálidos o para entornos fríos.

2→ Los denominados índices empíricos, que se justifican en valores objetivos y subjetivos, tal es el caso del índice de tensión fisiológica.

3→ Por último están aquellos índices que se basan en mediciones directas de variables ambientales o como se ha mencionado antes de los parámetros termohigométricos. Se puede destacar la temperatura aparente, la temperatura de globo húmedo etc.

En primer lugar, se van a definir los índices que relacionan variables meteorológicas con los hechos que fisiológicamente sucederán.

**El Índice de calor o sobrecarga calórica (HI)** proporciona información de la Temperatura Aparente como combinación de la humedad relativa y la temperatura del aire, por ello cuando en un ambiente la humedad es elevada, el calor retenido en el cuerpo se elimina a un ritmo menor del que lo haría si se estuviera en un ambiente con aire seco, esto es debido a que la tasa de evaporación del agua se reduce. Para temperaturas superiores a 32°C, el viento puede agravar este índice de calor. En estas condiciones de temperatura alta, es conocido además como la sensación térmica por calor.

Se puede medir el intercambio térmico entre el medio ambiente y el individuo mediante la siguiente ecuación [9]:

$$HI = -8.784695 + 1.61139411 * T + 2.338549 * HR - 0.14611605 * T * HR - 1.2308094 * 10^{-2} * T^2 - 1.6424828 * 10^{-2} * HR^2 + 2.211732 * 10^{-3} * T^2 * HR + 7.2546 * 10^{-4} * T * HR^2 - 3.582 * 10^{-6} * T^2 * HR^2$$

Siendo T: Temperatura en °C, HR: Humedad relativa en %.

Se pueden clasificar los valores obtenidos según la tabla [9]:

Heat Index (°C)	Categoría	Riesgos por trastorno de calor en personas
27-32	Precaución	Posible fatiga con exposición prolongada y/o actividad física.
32-41	Extrema precaución	Posible insolación, calambres musculares y/o agotamiento por calor debido a la exposición prolongada y/o actividad física.
41-54	Peligro	Gran probabilidad de sufrir insolación, calambres musculares y/o agotamiento por calor debido a la exposición prolongada y/o actividad física.
>= 54	Extremo peligro	Elevada probabilidad de sufrir insolación o golpe de calor.

Tabla 2 Clasificación del Índice de Calor.

		Temperatura (grados F)															
		80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110
Relative Humidity (%)	40	80	81	83	85	88	91	94	97	101	105	109	114	119	124	130	136
	45	80	82	84	87	89	93	96	100	104	109	114	119	124	130	137	
	50	81	83	85	88	91	95	99	103	108	113	118	124	131	137		
	55	81	84	86	89	93	97	101	106	112	117	124	130	137			
	60	82	84	88	91	95	100	105	110	116	123	129	137				
	65	82	85	89	93	98	103	108	114	121	128	130					
	70	83	86	90	95	100	105	112	119	126	134						
	75	84	88	92	97	103	109	116	124	132							
	80	84	89	94	100	106	113	121	129								
	85	85	90	96	102	110	117	126	135								
	90	86	91	98	105	113	122	131									
95	86	93	100	108	117	127											
100	87	95	103	112	121	132											

Tabla 3 Caracterización de los valores del HI (°F) en función de T y HR.

(Siendo 80°F= 26.6°C y 110°F= 43.3°C)

Las limitaciones se encuentran, en el hecho de que no es posible tener caracterizada la sensación térmica por calor para valores de humedad relativa fuera del intervalo del 40-100%, ni de temperaturas alejadas del rango 25-44°C, de ser así los resultados carecerían de sentido físico.

Sin embargo, en el caso de trabajar con temperaturas más bajas al valor comentado anteriormente, se habla de **sensación térmica por frío** o **Wind Chill**, el cual se definirá más adelante.

El **Índice de disconfort (DI) o (THI)**, es uno de los índices más usados para estimar el grado de disconfort en diferentes jerarquías, que cubren el espectro de todos los climas fríos y tropicales, basándose en la temperatura efectiva y en la humedad relativa.

Puede calcularse y posteriormente evaluarse como [11]:

$$DI = T - (0.55 - 0.0055 * HR) * (T - 14.5)$$

Siendo T: Temperatura efectiva en °C y HR la humedad relativa en %.

Disconfort Index Categoría	Disconfort Index Valores (°C)
Hiperglacial	< -40
Glacial	-39.9 a -20
Frío extremo	-19.9 a -10
Frío elevado	-9.9 a -1.8
Frío	-1.7 a 12.9
Fresco	13 a 14.9
Confort	15 a 19.9
Caluroso	20 a 26.4
Mucho calor	26.5 a 29.9
Ambiente tórrido	>30

Tabla 4 Clasificación de los valores del Disconfort Index.

El **Humidex**, es un parámetro canadiense que relaciona la temperatura del aire (en °C) y la presión de vapor (en hPa) y nos da una idea de como una persona percibe el clima húmedo y cálido [9].

$$Humidex = T + 0.5555 * (vp - 10)$$

Siendo vp (la presión de vapor) [9]:

$$vp = 6.11 * e^{(5417.753 * (\frac{1}{273.16}) * (\frac{1}{273.16 + td}))}$$

Td: la temperatura de rocío.

$$Td = T + 35 * \log\left(\frac{HR}{100}\right)$$

Humidex (°C)	Grado de discomfort
20-29	Discomfort nulo.
30-39	Discomfort.
40-45	Evitar esfuerzos por posible estrés térmico.
>46	Posible golpe de calor por estrés térmico.

Tabla 5 Clasificación de los valores del Humidex

**La Temperatura Resultante o Efectiva (ET)**, es un parámetro que analiza como se ve el confort alterado por la presencia de la temperatura y humedad, por lo que a partir de parámetros meteorológicos se obtiene la temperatura efectiva del organismo humano, y permite conocer como se ve afectado su intercambio con el medio ambiente [9].

$$T_{ef} = 37 - \frac{37 - T}{0.68 - 0.0014 * HR + \frac{1}{1.76 + 1.4 * v^{0.75}}} - 0.29 * T * (1 - 0.01 * HR)$$

Siendo “v”: la velocidad del viento a 1.2m sobre el suelo.

En esta gráfica se monitoriza el índice de estrés térmico para las distintas estaciones del año según la combinación de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento [9].

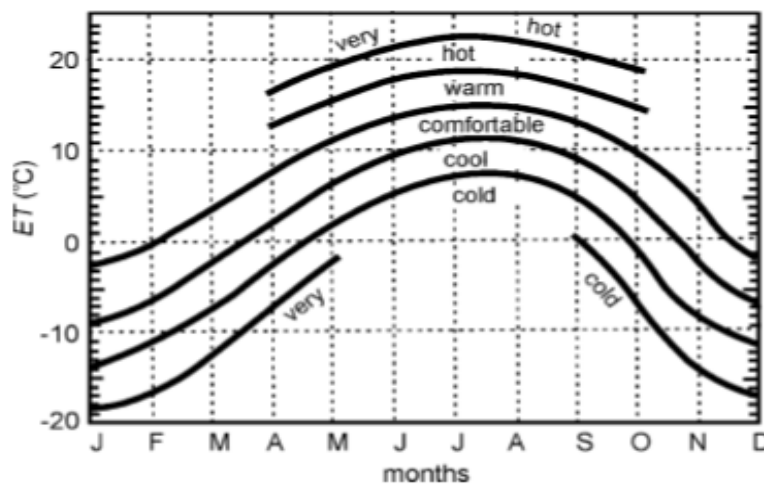


Figura 2 Caracterización de la temperatura efectiva a lo largo del año.



**La temperatura de globo húmedo (WBGT)**, este índice tiene como antecesor la “Temperatura Efectiva” y fue desarrollado por la Marina, en los EEUU mediante el estudio de las lesiones en los entrenamientos militares debidas al golpe de calor. Es un parámetro que pondera la Temperatura de Bulbo Seco, de Bulbo Húmedo y la Temperatura de Globo Negro, y proporciona información acerca de la máxima temperatura que cada persona puede sobrellevar sin llegar a sufrir grandes lesiones. Para ello, un parámetro previo a conocer es la temperatura radiante, que identifica la sensación térmica, ya que a través de un termómetro de bulbo se simula un cuerpo negro y permite medir el calor en forma de radiación que es emitida por los elementos del entorno. La combinación de esta temperatura y la temperatura ambiente es la que se determina mediante el WBGT.

Según fuentes bibliográficas, hay dos formas de estimar el valor de la WBGT.

La primera de ellas, simplifica los cálculos para cuando no se dispone de medidores o información que permita hallar las temperaturas de globo seco ni húmedo.

Está compuesta por la temperatura del aire y la presión de vapor [9]:

$$WBGT = 0.567 * T + 0.393 * vp + 3.94$$

La segunda se ajusta a las temperaturas de globo seco y húmedo, que bien se pueden determinar con medidores específicos de éstas o bien se pueden estimar mediante [1], [25]:

$$WBGT = 0.7 * Th + 0.3 * Tg \quad (\text{sin exposición solar})$$

$$WBGT = 0.7 * Th + 0.2 * Tg + 0.1 * T \quad (\text{con exposición solar})$$

Ambas obtenidas en °C.

$$Tg = T + 0.557 + 0.0277 * R - 2.39 * v^{0.5} \quad (R \leq 400 \frac{W}{m^2})$$

$$Tg = T + 6.40 + 0.0142 * R - 3.84 * v^{0.5} \quad (R > 400 \frac{W}{m^2})$$

$$Th = T - (0.0121 * T + 0.2305) * (T - Td)$$

---

Siendo  $T_h$ : La temperatura de globo húmedo. Es proporcionada por un sensor de Temperatura, el cual es envuelto por un revestimiento húmedo y ventilado de manera natural.

$T$ : Es la temperatura de aire seca y se mide mediante un termómetro convencional que impida el paso de la radiación térmica, pero si la circulación del aire natural alrededor de él.

$T_g$ : La temperatura de globo negro, donde el sensor se introduce dentro de una esfera con características particulares.

$V$ : velocidad del aire en m/s.

$R$ : radiación  $W/m^2$ .

$T_d$ : La temperatura de rocío.

Siendo todas las temperaturas medidas en  $^{\circ}C$ .

En el capítulo 5 se profundizará sobre las condiciones que deben cumplir los aparatos de medida para proporcionar dichas temperaturas.

Para el análisis realizado en el capítulo 4 del proyecto, se han efectuado los cálculos de la WBGT de ambas maneras, para comprobar si los resultados se asemejaban lo suficiente como para poder prescindir de medidores como el de radiación o velocidad del viento, ya que encarecen los costes de la instalación.

Sin embargo, habían diferencias en los valores llegando a alcanzar hasta  $6^{\circ}C$ , por lo que si no se disponen de medidores de temperatura de globo seco y húmedo, debido a la supervisión constante que requieren, la forma más idónea de estimar este indicador es mediante el segundo bloque de ecuaciones.

Una vez determinados los valores, estos se pueden ordenar y distinguir los niveles de riesgo [9].

<b>WBGT (<math>^{\circ}C</math>)</b>	<b>Nivel de riesgo</b>	<b>Actividad física recomendada</b>
< 18	Bajo	Ilimitada.
18-23	Moderado	Precaución al realizar sobreesfuerzos por posibles síntomas de estrés térmico.
23-28	Alto	Debería acortarse en la medida de lo posible cualquier esfuerzo físico en condiciones no aclimatadas.
>28	Extremo peligro	Cualquier entrenamiento físico debería ser detenido.

Tabla 6 Clasificación de los valores del WBGT.

Si se relacionan los distintos valores obtenidos del WBGT con el consumo metabólico de cada individuo, siendo éste la cuantía de calor que el organismo produce por unidad de tiempo a la hora de realizar una actividad, se hallaría el valor límite que no debería ser sobrepasado para evitar situaciones de estrés, el cual se puede ver con la siguiente gráfica [5]:

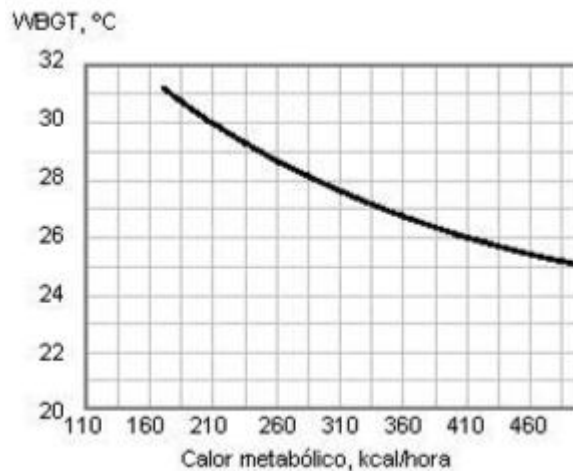


Figura 3 Valor límite del WBGT en función del metabolismo.

**Wind Chill (WCT)**, conocido en España como sensación de escalofrío o sensación térmica de frío y hace alusión a la influencia del viento en la pérdida de calor sobre la superficie de la piel. Como anteriormente se ha comentado, una de las características más resaltables del viento es su tendencia a enfriar los objetos más rápidamente, a temperaturas no muy elevadas, es por ello por lo que se puede modelizar el siguiente parámetro de acuerdo a los valores de la temperatura del aire a 1.5 metros en °C y la velocidad del viento en m/s a 10 m [9], [20].

$$WCT = 13.12 + 0.6215 * T - 11.37 * (v * 3.6)^{0.16} + 0.3965 * T * (v * 3.6)^{0.16}$$

Como se puede apreciar, la humedad apenas influye en este indicador debido a que conforme las temperaturas van bajando, las tasas de evaporación son cada vez menores.

Viento en nudos	Viento en km/h	Temperatura (°C)																									
		10	7,5	5	2,5	0	-2,5	-5	-7,5	-10	-12,5	-15	-17,5	-20	-22,5	-25	-27,5	-30	-32,5	-35	-37,5	-40	-42,5	-45	-47,5	-50	
<b>Sensación térmica por efecto de enfriamiento del viento</b>																											
3-6	8	7,5	5	2,5	0	-2,5	-5	-7,5	-10	-12,5	-15	-17,5	-20	-22,5	-25	-27,5	-30	-32,5	-35	-37,5	-40	-45	-47,5	-50	-52,5	-65	
7-10	16	5	2,5	2,5	-5	-7,5	-10	-12,5	-15	-17,5	-20	-25	-27,5	-32,5	-35	-37,5	-40	-45	-50	-52,5	-57,5	-60	-62,5	-65	-67,5	-	
11-15	24	2,5	0	-5	-7,5	-10	-12,5	-17,5	-20	-25	-27,5	-32,5	-35	-37,5	-42,5	-45	-47,5	-52,5	-55	-57,5	-60	-65	-67,5	-72,5	-75	-	
16-19	32	0	2,5	7,5	-10	-12,5	-17,5	-22,5	-25	-30	-35	-37,5	-42,5	-47,5	-50	-52,5	-57,5	-60	-65	-67,5	-70	-72,5	-75	-77,5	-80	-85	
20-23	40	0	-5	7,5	-10	-15	-17,5	-22,5	-25	-30	-35	-37,5	-42,5	-45	-50	-52,5	-55	-60	-62,5	-67,5	-70	-75	-77,5	-82,5	-85	-90	
24-28	48	2,5	-5	10	12,5	17,5	-20	-25	-27,5	-32,5	-35	-40	-42,5	-47,5	-50	-55	-57,5	-62,5	-67,5	-72,5	-75	-77,5	-80	-85	-90	-95	
29-32	56	2,5	7,5	10	12,5	17,5	-20	-25	-30	-32,5	-37,5	-42,5	-45	-50	-52,5	-57,5	-60	-65	-67,5	-72,5	-75	-80	-82,5	-87,5	-90	-95	
33-36	64	2,5	7,5	10	-15	-20	-22,5	-27,5	-30	-35	-37,5	-42,5	-45	-50	-55	-60	-62,5	-65	-70	-75	-75,5	-82,5	-85	-90	-92,5	-97,5	
Vientos superiores a los 64 km/h producen un peligroso efecto adicional		<b>PELIGROSO</b>							<b>MUY PELIGROSO</b>							<b>EXTREMADAMENTE PELIGROSO</b>											
		Las partes del cuerpo expuestas al viento se pueden congelar en 1 minuto							Las partes del cuerpo expuestas al viento se pueden congelar en 30 segundos							Las partes del cuerpo expuestas al viento se pueden congelar en 30 segundos											
<b>PELIGRO DE CONGELACIÓN DEL CUERPO HUMANO EXPUESTO AL VIENTO SIN LA APROPIADA VESTIMENTA</b>																											

Tabla 7 Caracterización de los valores del WCT.

WCT (°C)	Riesgo de congelación	Impacto en la salud
0 a -9	Bajo	Ligero incremento de disconfort.
-10 a -27	Bajo	Riesgo por hipotermia si no hay una protección adecuada.
-28 a -39	Riesgo por congelación en 10 a 30 min.	Elevado riesgo de hipotermia sin la protección adecuada aun siendo tiempos de exposición bajos.
-40 a -47	Elevado riesgo de congelación en 5 a 10 min.	Riesgo de congelación de las extremidades no protegidas.
-48 a -54	Extremado riesgo por congelación en 2 a 5 min.	Elevado riesgo de congelación de todos los miembros.
< -55	Excesivo riesgo de congelación en menos de 2 min.	Peligro extremo aun llevando la protección adecuada y tiempos cortos de exposición.

Tabla 8 Clasificación de los valores del WCT.

A continuación, se definirán aquellos índices que afectarán al confort, pero no de manera general sino de manera subjetiva, de acuerdo a los casos particulares de cada individuo o grupos de individuos. A diferencia de los anteriores, dado su carácter empírico, estos que a continuación se comentarán no podrán expresarse mediante una ecuación general que dependa solo de valores termohigrométricos.

**El valor del voto promedio (PMV)**, parte de un experimento desarrollado por Fanger en 1970, para evaluar la sensación de disconfort. Para ello, un grupo de personas fueron sometidas a unas condiciones ambientales con una tasa metabólica determinada y un aislamiento de ropa medido en clo, donde se iba midiendo la sensación de confort que este grupo iba experimentando. Se trata de una ecuación bastante compleja que depende de muchas variables y requiere de un gran número de iteraciones, por lo que hoy en día hay softwares especiales que realizan esta medición.

Los valores que se obtienen pueden ser caracterizados según Fanger [21]:

Sensación térmica						
Frío	Frescor	Frescor ligero	Neutro	Ligeramente cálido	Cálido	Muy cálido
-3	-2	-1	0	1	2	3

Tabla 9 Clasificación de los valores del PMV.

El problema radica en el porcentaje de insatisfechos, que al estar sometidos a las mismas condiciones que el resto, perciben una sensación térmica distinta, estos se tienen en cuenta solamente en caso de que sus valoraciones se encuentren en los extremos 2 y 3 tanto de positivos como de negativos, ya que para valores neutrales o en equilibrio con el medio, su porcentaje es prácticamente insignificante.

Se puede expresar dicho porcentaje para un ambiente determinado como [21], [4]:

$$PPD = 100 - 0.95 * e^{(-0.03353*PMV^4 - 0.2179*PMV^2)}$$

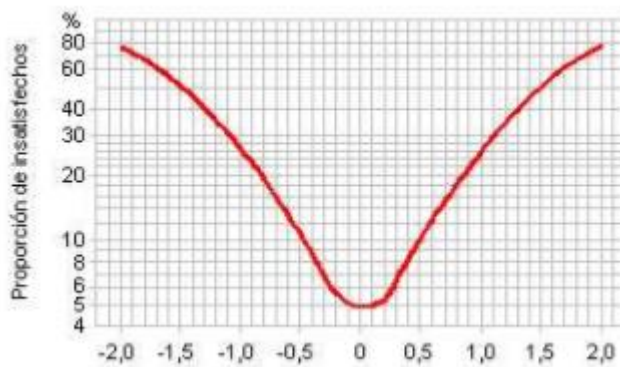


Figura 4 Porcentaje de insatisfechos del PMV.

**La temperatura estándar efectiva (SET\*),** se trata de un parámetro que mide las condiciones de confort humana para un ambiente hipotético en el que la temperatura del aire y superficial del cuerpo humano son isotermas, la humedad relativa es del 50% y la velocidad del aire es  $< 0.1\text{m/s}$ , los individuos realizan una actividad en cuestión, poseen un valor de aislamiento térmico de 0.6 y una tasa metabólica de 1.5 MET.

Proporciona información sobre el confort en ciertas condiciones en las que se relacionan los factores físicos básicos de medida del confort térmico y las condiciones fisiológicas de las personas.

**La temperatura equivalente fisiológica (PET),** Se selecciona un entorno cerrado con unas condiciones de temperatura isotérmicas, y se define la temperatura a partir de la cual se da el equilibrio en el balance de energía del ser humano en un entorno abierto. Las características consideradas son una presión de vapor de 12 hPa (con una humedad del 50% y a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ ), con un aire suave de  $0.1\text{ m/s}$ , y se evalúa a la persona teniendo en cuenta unas condiciones fisiológicas de 1.5 MET y 0.9 de índice de indumento.

**La temperatura equivalente (PT),** Es la temperatura que se define en un entorno de las mismas condiciones anteriores de temperatura isoterma, humedad relativa del 50% y un aire ligero, en la que se percibe la misma sensación de frío o calor que el parámetro PMV determinaba en un entorno real. En cuanto a las condiciones evaluadas de cada persona, se considera un clo de 0.5 para climas veraniegos y un clo de 1.75 para invernales y una tasa metabólica de 2.35 MET.

Estos parámetros de estudio del confort son evaluados con softwares específicos, donde se analiza como para unos mismos valores climatológicos, la sensación de disconfort se va reduciendo al introducir espacios urbanos verdes, reduciendo el albedo mediante diferentes pavimentos, mermando la radiación incidente con la presencia de arboledas, el resguardo por las sombras de los edificios etc.

A modo de tabla resumen se recoge los distintos rangos diferenciables para la mayoría de los indicadores comentados anteriormente.

	Índice de sensación térmica °C								
	HI	DI	Humidex	ET	WBGT	WCT	SET*	PET	PT
<b>Congelación</b>		<-20				< -55			<-39
<b>Elevado Frío</b>		-19 a -10		< 1		-54 a -40		<4	-39 a -26
<b>Frío</b>		-9 a -12.9		1-9		-39 a -28		4-8	-26 a -13
<b>Frescor</b>		13-15		9-17		-27 a -10	< 17	8-18	-13 a 0
<b>Confort</b>		15-20	< 30	17-21	< 18	>-10	17-30	18-23	0-20
<b>Caliente</b>	27-32	20-26.4	30-40	21-23	18-24		30-34	23-35	20-26
<b>Muy caliente</b>	32-41	26.5-30	40-45	23-27	24-28		34-37	35-41	26-32
<b>Estrés térmico</b>	41-54	>30	45-55	>27	28-30		>37	>41	32-38
<b>Sofocante</b>	>54		>55		>30				>38

Tabla 10 Clasificación general de los indicadores de estrés térmico.

En el siguiente capítulo del documento presente se realizará el análisis de dichos indicadores para la zona de estudio comentada, de acuerdo con el marco del proyecto europeo GROW GREEN.

### 3.3 Efecto Isla de Calor

Hasta ahora, se ha definido el estrés térmico por calor como situaciones en las que las personas están sometidas a grandes cargas térmicas, con una humedad en el ambiente alta y sin apenas brisas de aire, y los índices detallados anteriormente ayudaban a caracterizar las zonas más y menos agradables de la ciudad.

El "Efecto Isla de Calor" (EIC), es un fenómeno en el que dentro de una misma ciudad se pueden diferenciar varias zonas en las que hay una mayor tendencia a producirse este estrés en comparación con las otras, debido a la diferencia en la temperatura del aire del núcleo de ésta y de sus alrededores.

Posteriormente se comprobará para la ciudad de Valencia, que en la zona urbana hay una mayor concentración de calor que en las zonas rurales, este hecho es debido principalmente a los

---

cambios de la actividad humana en el uso del suelo, la disposición y materiales de los edificios y el abundante tráfico con sus emisiones, lo que ocasiona unos incrementos de temperatura importantes que afectan no solo al estrés térmico sino también al cambio climático.

Es un hecho, que el centro de la ciudad y las áreas residenciales tienden a tener una mayor concentración y retención de calor por la noche que en los alrededores, debido a que por el día, esta masificación de infraestructuras crean sombras y bloquean la radiación, sin embargo, por la noche los materiales de éstas acumulan, después de todo el día, grandes cantidades de temperatura, añadiendo además el albedo, debido a la concentración de radiación sobre todo en los asfaltos, los gases contaminantes tanto de vehículos como de industrias y en general la dificultad del paso de las brisas de aire, por lo que si se observa con un termómetro que mida la temperatura del aire o un termómetro de infrarrojos, se podrá apreciar como en zonas urbanas, cuando anochece, el calor se va aliviando más lentamente que en zonas rurales con espacios verdes y poca concentración de población.

Las consecuencias directas en la salud humana, debido a la dificultad de disipación del calor nocturno son: Insomnio, una pérdida de la productividad laboral, una alteración de las funciones metabólicas y en mayor medida el incremento del ratio de mortalidad debido al estrés térmico.

De acuerdo con el plan de estudios urbano [11] se propuso el objetivo de mejorar la ventilación de la ciudad para tratar de solventar los efectos negativos de este fenómeno, en primer lugar está en repoblar la ciudad con áreas verdes ya sean parques, tejados y muros verticales verdes, bosquetes, etc. Gracias a estas zonas verdes, las plantas y los árboles realizan la evapotranspiración la cual consiste en liberar agua a la atmósfera y refrescar así el ambiente y, además, obstaculizar el paso del viento de Poniente por ser un viento seco y caluroso, sobre todo en los meses de Verano.

Por otro lado, otra solución sería usar materiales con alto albedo para que las superficies de los edificios e infraestructuras absorban menor cantidad de radiación solar, que al llegar la noche acabarían desprendiendo.



---

## 4. ESTUDIO DEL ESTRÉS TÉRMICO EN VALENCIA, BENICALAP.

### 4.1 Análisis de los indicadores basados en datos meteorológicos.

Para el desarrollo del siguiente apartado, se va a proceder con el análisis del confort y del estrés térmico que hay en la ciudad de Valencia, para ello, se dispone de los datos meteorológicos de los cinco últimos años, registrados por la agencia estatal de meteorología de las estaciones del Aeropuerto de Valencia y de Viveros.

En primer lugar, se detallará mediante los parámetros termohigrométricos de la estación del Aeropuerto los indicadores descritos en el capítulo anterior, puesto que es la estación de la que se dispone más información acerca de la medición de los valores que son necesarios. En la estación de Viveros, resulta imposible realizar un estudio tan detallado, debido a que durante la mayor parte del tiempo no se tiene información de los valores medidos y que resultan indispensables para el cálculo.

En primer lugar, se analiza el índice de sobrecarga calórica a partir de los datos proporcionados por la estación de Aeropuerto. Tal y como se ha definido anteriormente, es un indicador que depende solamente de la temperatura del aire y la humedad relativa, sin embargo, para que sus valores adquieran sentido físico, su estudio debe realizarse para humedades comprendidas entre el 40 y el 100% y temperaturas superiores a los 25°C.

A continuación, se representa mediante un gráfico, la cantidad total de horas comprendidas dentro de los rangos mencionados, visualizando de manera más clara y precisa el tiempo en el que la salud humana se ha visto amenazada por el riesgo de sufrir estrés térmico.

En el primero de ellos se muestra, el total de horas en estos cinco años en el que se aprecia el tiempo permanente en cada una de las categorías. Se puede ver plasmado también el resto de horas en las que no se puede jerarquizar ya que la temperatura y humedad relativa no estaban comprendidas dentro de los valores necesarios para que los resultados adquiriesen sentido físico, abarcando estas horas un 85 % del total.

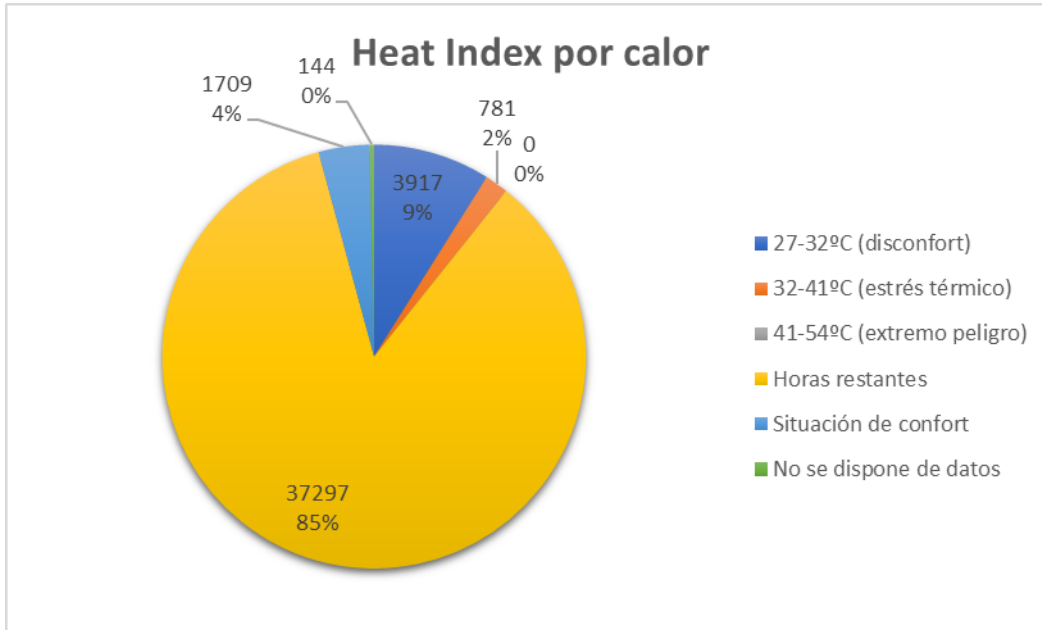


Figura 5 Clasificación de las horas de HI por calor.

Se destaca pues, que del total de horas estudiadas en estos cinco años, tan solo 6407 son simbolizadas por el HI de sobrecarga calórica, y pueden ser distribuidas mediante:

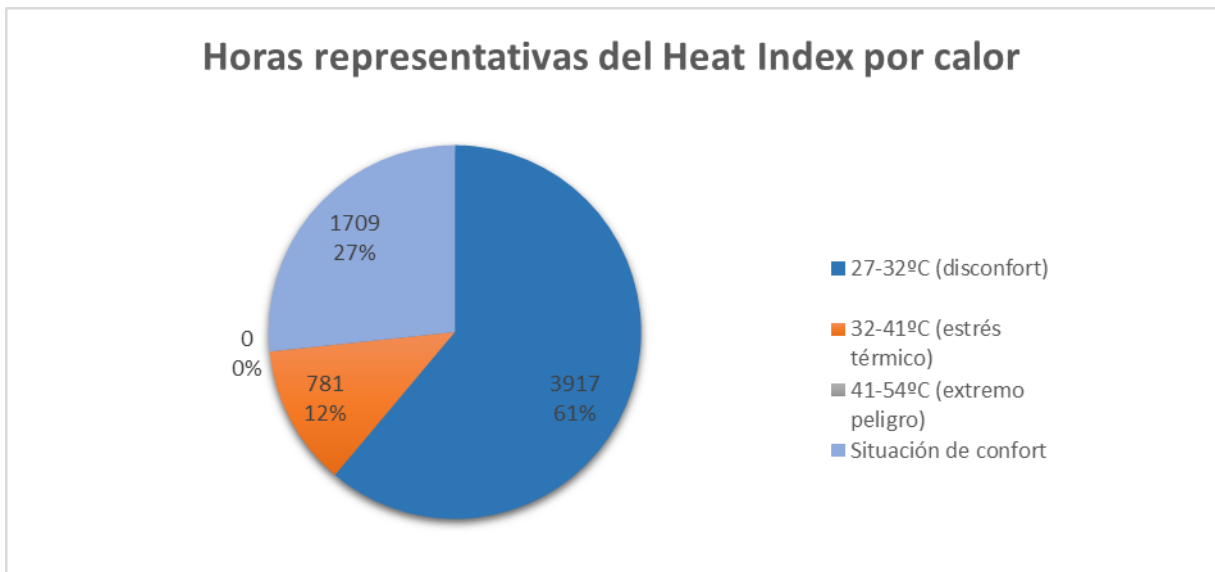


Figura 6 Clasificación de las horas representativas del HI por calor.

Si se interpretan los resultados del último gráfico, se puede observar que el 3.89% de los cinco años, la situación era de confort, debido a que la temperatura del aire era superior a 25°C y menor que 27 °C y la HR rondaba entre el 40 y el 100%, por lo tanto, los valores estaban lejos de cualquier límite de peligro.

En cuanto al inicio de una condición de disconfort, el 8.93% del tiempo, los valores registrados se situaban entre 27 y 32°C, por lo que en caso de tiempos prolongados de exposición, se manifestaban síntomas de mareos y fatigas, los cuales se agravaban si se practicaba algún sobreesfuerzo físico.

Por último, el 1.78% correspondían a valores comprendidos entre los 32 y 41°C, donde el peligro de padecer insolación, calambre muscular y agotamiento por calor era bastante alto. El máximo valor que se ha llegado a alcanzar por este indicador ha sido de 39.32°C, bajo unas condiciones de temperatura de 35.4°C y una humedad relativa de 44%, y el día en el que aconteció fue el 24 de julio de 2015 sobre las 11 horas.

Si se distribuyen las 781 horas en las que dicho indicador reconocía que la situación era característica de sufrir estrés térmico, se revela que el año 2015, fue el año con mayor número de horas registradas con riesgo de sufrir las consecuencias directas por sobrecarga de calor.



Figura 7 Distribución de las horas de estrés térmico en los cinco años.

En ningún caso se ha llegado a dar valores superiores a los 41°C y por tanto que conlleven a un extremo riesgo vital en las personas.

Con todo esto se concluye que, de todas las horas evaluadas, un 10.71% del total han supuesto un peligro en la salud humana siempre y cuando no se han llevado a cabo medidas preventivas ni de seguridad.

El siguiente indicador que se va a proceder a analizar y caracterizar es el índice de disconfort. Se trata de uno de los indicadores de los que solamente dependen de la temperatura del aire y su

humedad relativa, sus valores se van a determinar a partir de los datos adquiridos por el medidor del Aeropuerto.

Dentro del periodo estudiado para la ciudad de Valencia, no ha habido ninguna hora en la que se haya visto envuelto en una situación de extremo riesgo, es decir, no se han registrado valores cuyo índice de desconfort sea superior a 30°C ni tampoco, inferiores a -20°C, la máxima categoría de DI que se ha alcanzado, ha sido por una sensación de bochorno, en la que se ha visto involucrado un total de 704 horas, lo que indica que en estos instantes las personas se han visto expuestas a una situación de un estrés térmico severo.

Para una sensación de mucho calor en el que más del 50% de las personas sienten desconfort, se ha hallado un total de 14406 horas.

Para una situación de sensación de confort, ha habido una cantidad total de 13076 horas, y de frescor 4860 horas. Siendo la mínima categoría alcanzada la de sensación de frío, en la que se han registrado un total de 10658 horas. En ningún caso se ha llegado a obtener valores inferiores a los -1.7 °C.

A continuación, se encuentra de manera abreviada y en forma de tabla, varios ejemplos de días en los que se han dado estas categorías.

DI categoría	Rango	Valor DI	Temp (°C)	Humedad (%)	Fecha	Hora
<b>Bochorno</b>	26.5-29.9	28.96	35.4	44	24/07/2015	11:00
<b>Bochorno</b>	26.5-29.9	28.37	32.8	44	07/08/2015	12:00
<b>Bochorno</b>	26.5-29.9	28.37	32.5	40	28/06/2012	13:00
<b>Mucha calor</b>	20-26.4	26.394	33.5	32	03/09/2016	15:00-16:00
<b>Mucha calor</b>	20-26.4	20.0031	20.8	77	18/06/2012	04:00
<b>Confort</b>	15-19.9	19.8991	20.8	74	12/07/2014 18/06/2015 17/06/2016	01:00 23:00 22:00
<b>Frescor</b>	13-14.9	14.89	15.2	22	15/02/2012 09/02/2013 23/01/2015 06/03/2016	14:00 15:00 15:00 16:00
<b>Frío</b>	-1.7- 12.9	12.9	12.9	100	28/11/2016	11:00
<b>Frío</b>	-1.7- 12.9	-0.09	-1.9	80	08/02/2015	07:00

Tabla 11 Ejemplo de varios días catalogados por DI.

De las 704 horas en las que la condición ambiental se calificaba como bochornosa, se puede apreciar su distribución a lo largo de los 5 años, en el que reafirma también que 2015 fue el año con una mayor cantidad de tiempo en situación de estrés térmico.

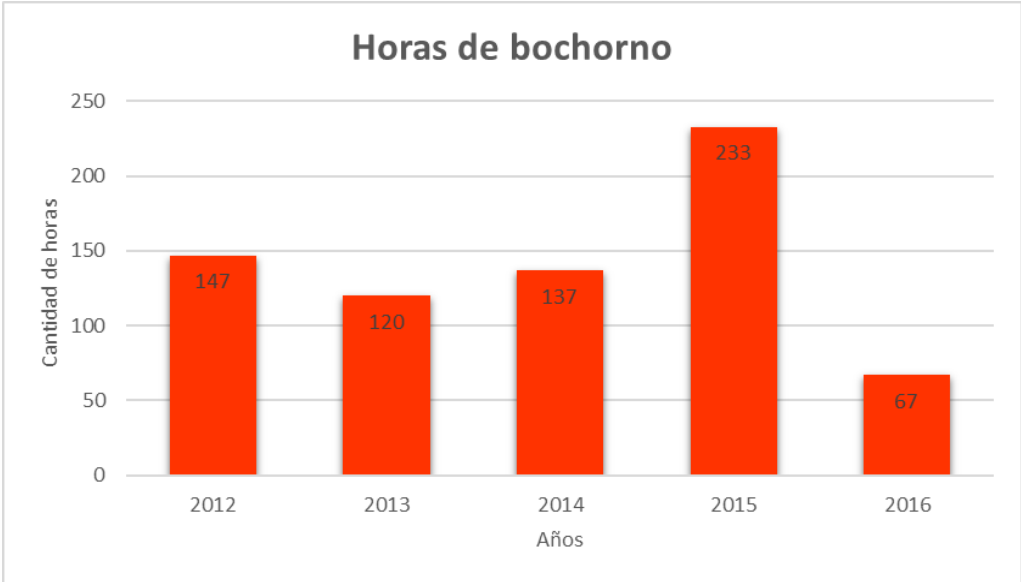


Figura 8 Distribución de las horas de estrés térmico por el DI.

Para concluir con el estudio de este indicador, se distribuye el total de las 43848 horas en forma de porcentaje de las categorías previamente analizadas.

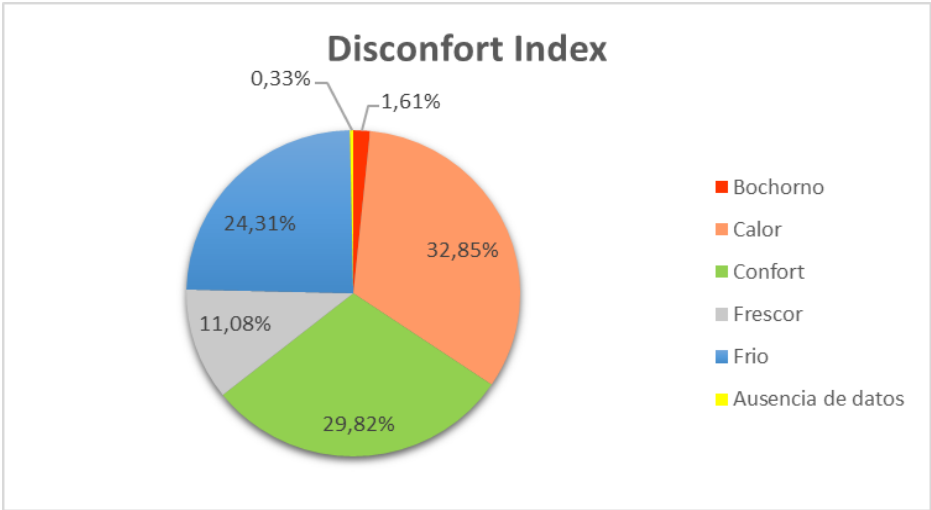


Figura 9 Clasificación de todas las horas según el DI.

Por lo que la mayor parte del tiempo, predominaba una sensación de calor, tal y como es propio del clima mediterráneo, en el que destaca por un ambiente caluroso y húmedo la mayoría del año.

Seguidamente, se va a analizar el indicador descrito anteriormente y conocido como Humidex, cuyos valores, son determinados a través de la temperatura del aire y la presión de vapor de los parámetros termohigrométricos medidos en la estación de Aeropuerto.

Se ha determinado que, el número de horas en las que las condiciones ambientales pueden considerarse que no producen ningún tipo de disconfort ascienden a 13967 horas (31.85%). Respecto al número de horas en las que se tiene que empezar a tomar precauciones para evitar posibles situaciones perjudiciales en la salud, se contabilizan un total de 472 horas (1.1%). La cantidad de horas registradas en las que ya no se habla de disconfort sino de estrés térmico han llegado a ser hasta 2.

En ninguna situación se ha llegado a un extremo peligro, ya que no se han alcanzado valores por encima de los 46 °C de este indicador.

De igual forma, se va a plasmar mediante una tabla los días más representativos de cada uno de los rangos evaluados, obteniendo por tanto:

Categoría	Rango (°C)	Humidex (°C)	Temp (°C)	Humedad (%)	Vel. Viento km/h	Fecha	Hora
<b>Estrés térmico</b>	40-45	40.59	42.2	8	37	14/05/2015	14:00 15:00
<b>Disconfort</b>	30-39	39.9	41.9	8	24	26/08/2014	14:00 15:00 16:00
<b>Disconfort</b>	30-39	30.07	32	60	21	07/08/2015	14:00
<b>No disconfort</b>	20-29	29.99	31.9	15	30	15/06/2016	16:00
<b>No disconfort</b>	20-29	20	21.9	14	6	01/03/2016	16:00

Tabla 12 Ejemplo de varios días catalogados por Humidex.

Para las 472 horas en las que la situación era de disconfort pueden verse representadas y distribuidas a lo largo de los 5 años a través del siguiente gráfico.

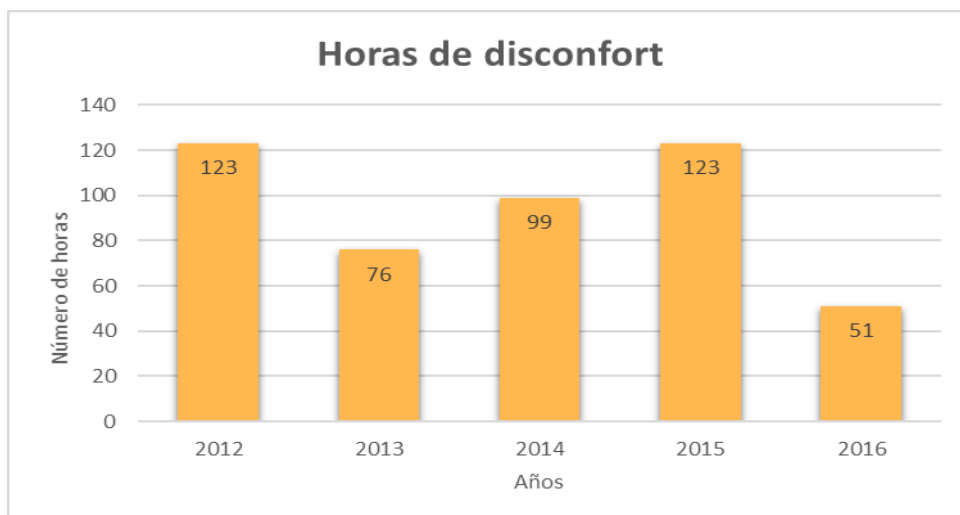


Figura 10 Clasificación de las horas de discomfort por el Humidex.

Se aprecia que en el año 2012 y 2015 ha sido los dos años con un mayor número de horas en situación de discomfort. En cambio, las dos únicas horas en las que este indicador identifica como elevado riesgo de sufrir estrés térmico se atribuyen ambas al año 2015 tal y como se ha confirmado con el estudio de los dos indicadores anteriores.

Tras la descripción del humidex y los resultados obtenidos, es razonable considerar el uso de éste indicador para aquellas regiones o países, con un clima más cálido que el valenciano, puesto que considera que, para llegar a una situación de discomfort y estrés térmico deben alcanzarse unos valores de temperatura bastante altos en comparación con otros indicadores, tal es el caso que, para considerar que el ambiente presente algo de discomfort, la temperatura debe sobrepasar los 30°C o los 25°C acompañados de humedades relativas altas (>70%). Se puede concluir que no resulta ventajoso caracterizar el estrés térmico en Valencia con el humidex.

El siguiente parámetro a evaluar es el de la temperatura efectiva. Para su estudio, se procede a estimar del conjunto de los 5 años, sus valores durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre partiendo de los datos de la estación de Aeropuerto.

Se puede constatar que 18300 horas la temperatura efectiva era superior a los 0 grados, siendo un total de 3008 horas en las que la situación era de confort, sin embargo, una cantidad de 7564 horas predominaba la sensación de discomfort en el ambiente e incluso se alcanzó la situación de estrés térmico, como fue el caso del 14 de mayo de 2015 sobre las 14-15 horas, donde la temperatura efectiva presentaba un valor de 32.8°C, siendo la temperatura del aire de 41.9°C y la humedad relativa del ambiente del 9%.

Seguido por el 26 de agosto del 2014 en el que se registraron 32.05°C de temperatura efectiva a las 14 horas, para una temperatura ambiental de 41.9°C y una HR del 8%.

Se puede extraer de este indicador, el hecho de que la mayor parte del tiempo en el periodo estival, la percepción del ser humano era de encontrarse en un ambiente con una gran sensación de discomfort.

El gráfico que a continuación se adjunta se puede visualizar el número de horas en los que el ambiente presentaba cada una de las características detalladas.

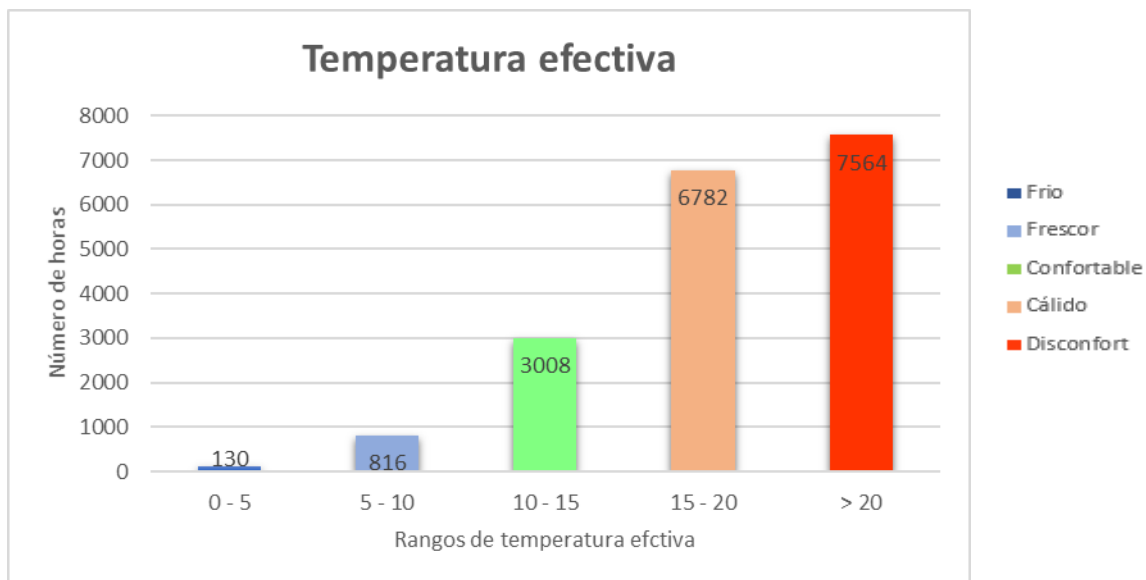


Figura 11 Clasificación de las horas según la Temperatura Efectiva.

Siguiendo con el análisis de los indicadores descritos en el capítulo anterior, se va a proceder con el estudio del WBGT como indicador que relaciona el estrés térmico con el esfuerzo físico. La fórmula empleada para su cálculo ha sido aquella que tenía en cuenta la exposición solar y, para su caracterización, se ha empleado tal y como se ha comentado, el segundo bloque de ecuaciones que, tenían en cuenta para el caso de la temperatura de globo seco; la temperatura del aire, la radiación solar y la velocidad del viento y para la temperatura de globo húmedo; la temperatura del aire y la temperatura de rocío.

Tras el estudio, se evidencian un total de 28164 horas en las que no hay ningún peligro de efectuar actividades al aire libre. Se contabilizan además 10443 horas en las que se tiene que tener un especial cuidado, debido a la posibilidad de empezar a manifestarse los síntomas relacionados con situaciones de discomfort y malestar.

Se han manifestado 5052 horas en las que se debería acortar todo lo posible el ejercicio o actividades realizadas bajo estas condiciones. Adentrándose en los valores límites en los que se garantiza la aparición de situaciones de estrés térmico, se han registrado 36 horas en las que se debería acortar y paralizar en la medida de lo posible todas las actividades, debido al elevado peligro que puede ocasionar prolongar este esfuerzo bajo este ambiente.



Si se representan los valores límites de cada rango, se obtiene la siguiente tabla sintetizada en la que se localizan varios días representativos de cada intervalo.

Categoría	Rango (°C)	Valor WBGT	Temp (°C)	Humedad (°C)	Vel. Viento (km/h)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Fecha	Hora
No discomfort	< 18	-5.01	-2.5	44	12	0	13/02/2012	6:00
No discomfort	< 18	17.9	20.9	63	20	627.78	12/05/2013	16:00
Límite	18- 23	18	19.5	80	4	2.78	18/09/2012	06:00
Límite	18- 23	22.9	27.7	50	22	594.44	31/08/2013	15:00
Discomfort	23- 28	23	23.9	78	4	480.56	12/09/2015	16:00
Discomfort	23- 28	27.97	31.3	62	14	419.44	26/07/2015	15:00
Peligro de estrés térmico	> 28	28.17	32.7	52	17	905.56	27/07/2013	11:00
Peligro de estrés térmico	> 28	29.42	35.4	44	14	777.78	24/07/2015	11:00

Tabla 13 Ejemplo de varios días catalogados por WBGT.

Finalmente, puede observarse en el próximo gráfico, el porcentaje de tiempo en el que se ha visto expuesto a cada una de las condiciones expresadas, es importante señalar, además, que de las 36 horas en las que la situación representaba una amenaza para la salud de las personas, tan solo 1 hora tuvo lugar en 2016, 24 de ellas se dieron en 2015, 3 en 2014, otras 3 más en 2012 y las últimas 5 en 2012.

Siendo por este indicador también, el año 2015, como el año con mayor número de horas de estrés térmico de los cinco estudiados.

Como ya ha sucedido en los casos anteriores, hay un gran porcentaje de horas en las que no se tiene constancia de varios parámetros termohigrométricos, resultando imposible el análisis de valores de los indicadores para estos casos.

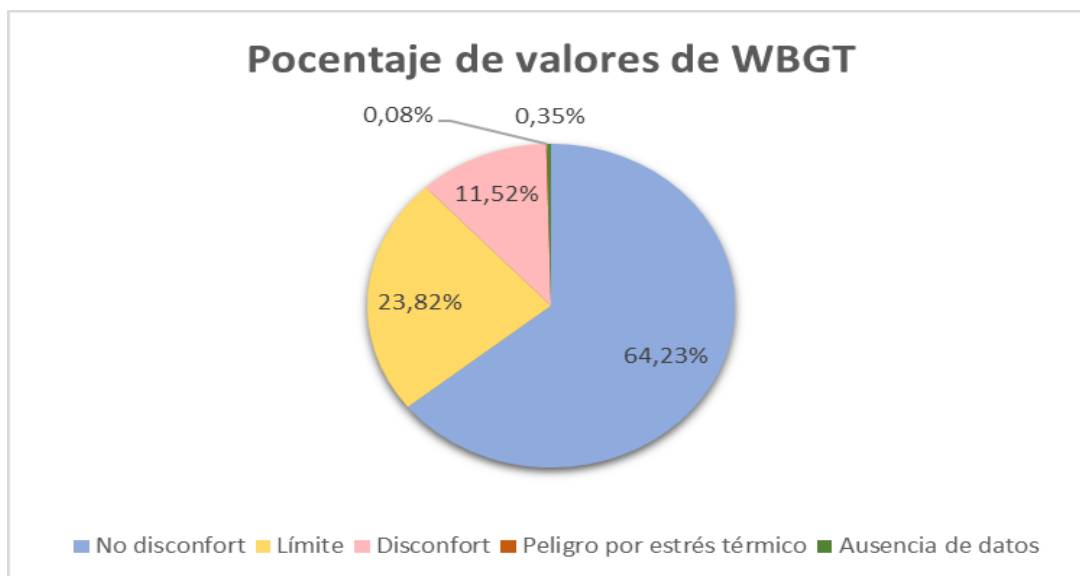


Figura 12 Clasificación de las horas según el WBGT.

El último indicador que se va a evaluar es el denominado Wind chill o sensación térmica por frío, a partir de los valores de temperatura ambiente y velocidad del aire tomados en el medidor de Aeropuerto.

Al tratarse de temperaturas bajas en las que se puede hablar de estrés por frío (<10°C), se va a considerar que las distintas velocidades del viento van a tener su procedencia del Norte o del Este, caracterizándose por ser vientos fríos y de gran velocidad.

Si se identifican las horas de los años estudiados en las que la temperatura ambiente se encontraba entre los 0 y los 10°C con unas rachas de viento superior a los 8 km/h, se contabilizan 2882, calificándose este periodo de tiempo como horas de discomfort o sensación de frío sin un riesgo significativo en la salud de las personas.

Se puede determinar de todos los datos disponibles, una cantidad de 57 horas en las que se empezaron a apreciar unos cambios en la sensación de frío con un bajo porcentaje de riesgo extremo, pero sí, en situación de precaución, es decir, valores de Wind Chill menores a los 0°C. Tras su análisis, el valor más bajo alcanzado en este rango es de -3.42°C, con una temperatura de -2.5 °C y una humedad relativa del 44%, la velocidad del viento era de unos 12 km/h y el día en el que tuvo lugar fue el 13 de febrero del 2012 sobre las 6 de la madrugada. Seguidamente, el siguiente día registrado con menor WCT corresponde al 13 de febrero de 2012 a las 7 horas de la mañana, con una temperatura ambiental de -3°C y una ráfaga de viento de 8 km/h, siendo el valor de -3.015°C.

No dándose el caso de situaciones más extremas ni riesgos de hipotermia por periodos prolongados. No obstante, hay un total de 144 horas en las que no se dispone de datos para poder evaluar cualquier indicador.

Si se distribuyen las 57 horas en los 5 años estudiados se obtiene que, el año 2012, fue el año con mayor número de horas en las que predominaba la sensación de frío.

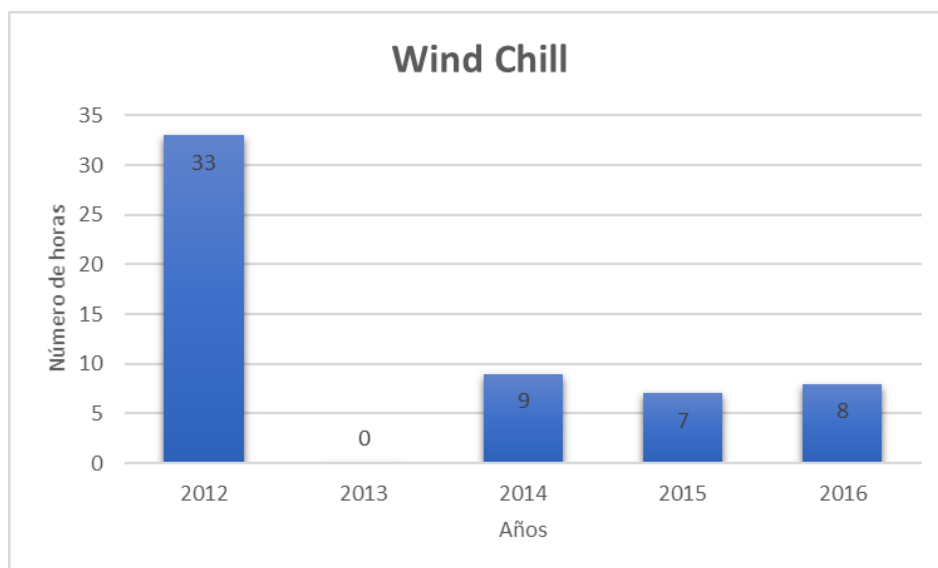


Figura 13 Clasificación de las horas del Wind Chill en los cinco años.

Tal y como se puede apreciar, este indicador carece de interés para el desarrollo del proyecto, puesto que la Comunidad Valenciana se caracteriza por su clima mediterráneo, en el que los inviernos son suaves y húmedos, con temperaturas mínimas que rondan la mayoría de las veces los 7-8 °C y salvo días puntuales, con fuertes rachas de viento, la sensación de frío apenas muestra valores muy bajos y abruptos en los que se corra un considerable peligro en la salud humana en comparación, con aquellos indicadores en los que se figura un exceso de calor en el ambiente.

Una vez detallado el estudio de cada indicador por separado, se va a proceder a identificar las horas conjuntas, en las que al menos tres de estos indicadores reconocían como horas de estrés térmico o horas en las que se debía tener una extrema precaución. Si se agrupan los resultados de los indicadores de Heat Index por calor, el índice de discomfort y el WBGT, por ser tres de los más representativos, coinciden en 667 horas de los cinco años en los que se tiene información.

En los gráficos siguientes se encuentran representados dos de los días en los que los tres indicadores apuntaban a riesgo por estrés térmico. Cada uno de estos dos días seleccionados son de los más interesantes ocurridos en dicho año, debido a la prolongada jornada de horas sometidos a un estrés constante en el ambiente.

El primero de ellos corresponde al año 2015, por ser el año en el que más horas se han registrado, concretamente 223, según concuerdan los tres índices. El Segundo, pertenece al 2012 por ser el siguiente año con más horas registradas en común.

Para el primer día simbolizado, se puede apreciar la evolución de los tres indicadores las 24 horas el día, los cuales siguen la misma línea de tendencia de alcanzar los valores máximos en las horas pico del día, siendo estas en las que más incide el sol.

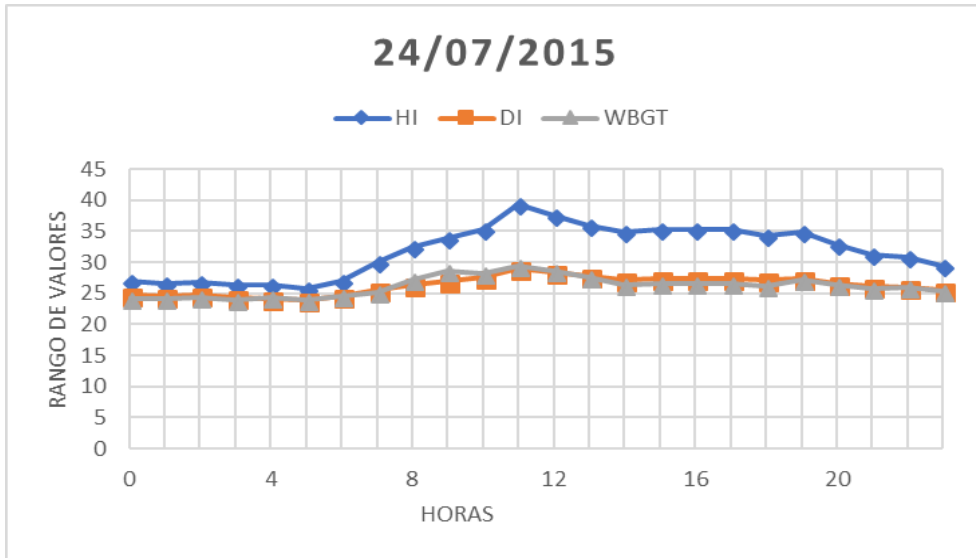


Figura 14 Representación del 24/07/2015 según los tres indicadores.

Si se profundiza en aquellas horas en las que los tres marcan estrés térmico, se llega al gráfico de a continuación, en el que se puede extraer que, de ocho de la mañana hasta aproximadamente las ocho de la tarde, verse expuesto a estas condiciones presentaba una elevada probabilidad de riesgo en la salud de acuerdo con los tres indicadores ya que, los tres sobrepasaban sus valores límite.

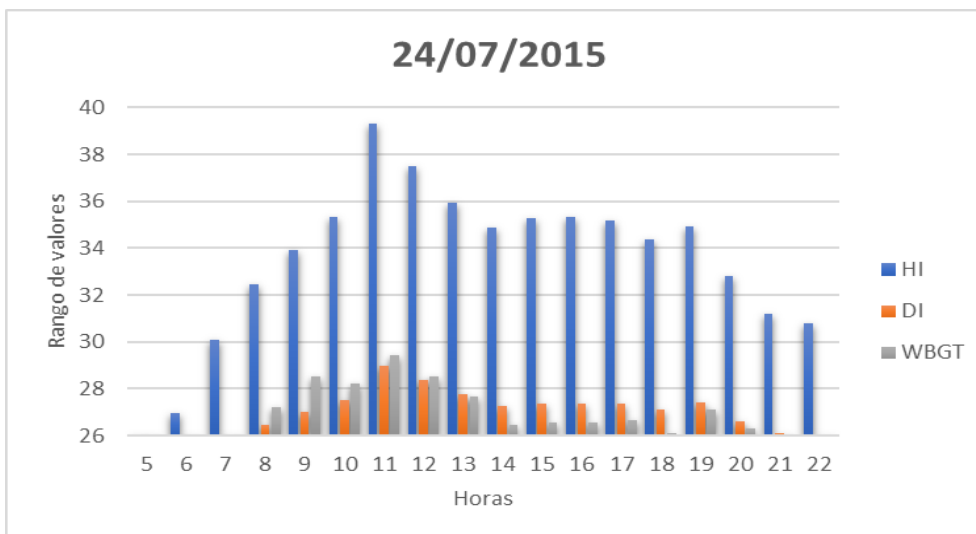


Figura 15 Horas de estrés térmico según los tres indicadores.

Para esclarecer el significado del gráfico anterior, se va a representar el incremento de temperatura de cada uno de los tres índices respecto al valor máximo, a partir del cual se considera que el bienestar y la salud humana se encuentra en estado de peligro.

En los gráficos siguientes se distinguen las horas en las que los índices sobrepasaron el valor de su límite de referencia y como de intenso llegó a ser ese estrés para las horas centrales del día. Respecto a los valores límite, se han definido con exactitud en el apartado de descripción de los indicadores, siendo estos de 32 °C para el HI, 26.4 °C para el DI y 25 °C para el WBGT.

El primero de ellos se obtiene a partir de los valores proporcionados por la estación del Aeropuerto.

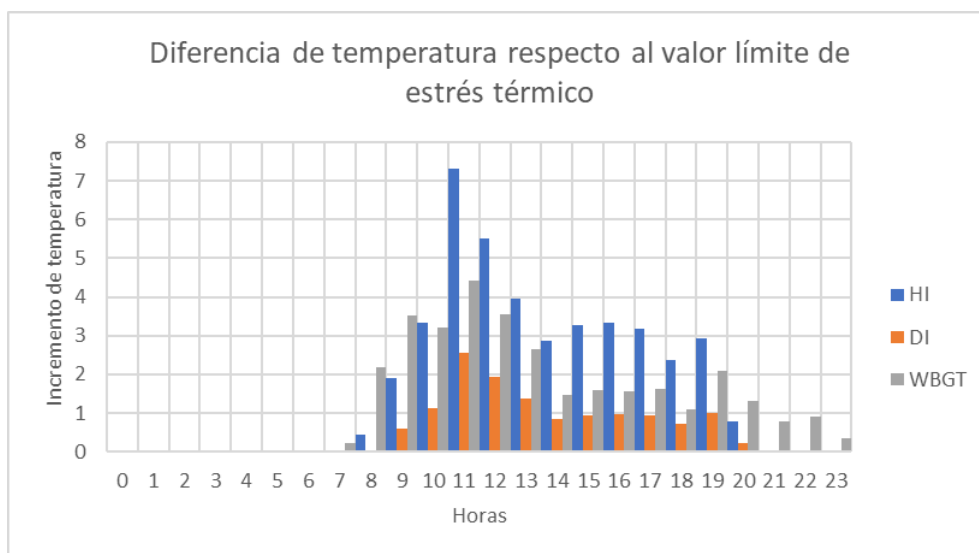


Figura 16 Temperatura excedente respecto al valor límite de cada indicador para el medidor de Aeropuerto.

Se aprecia por tanto lo comentado anteriormente, en el que aproximadamente de 9 de la mañana hasta las 20 horas de la tarde, los tres indicadores manifestaban una condición de estrés térmico. Siendo las peores horas entre las 11 y 12 de la mañana, alcanzando un valor superior al límite en el caso del HI de 7.3 °C, de 2.56°C para el DI y de 4.42°C para el WBGT.

A continuación, se encuentra figurado el mismo gráfico para el mismo día pero con los datos obtenidos por la estación de medida de Viveros, ya que debido a su ubicación, representa más adecuadamente el barrio de Benicalap.

Cabe destacar que para el análisis del indicador de WBGT se han empleado los datos de radiación obtenidos de Valencia-Aeropuerto, puesto que en Viveros no se dispone de ningún valor de

radiación. Debido a la cercanía de ambas estaciones meteorológicas (aproximadamente 10 km) la nubosidad y el ángulo de incidencia son prácticamente el mismo, por lo que se puede aceptar la consideración de que la radiación será la misma para ambas estaciones de medida.

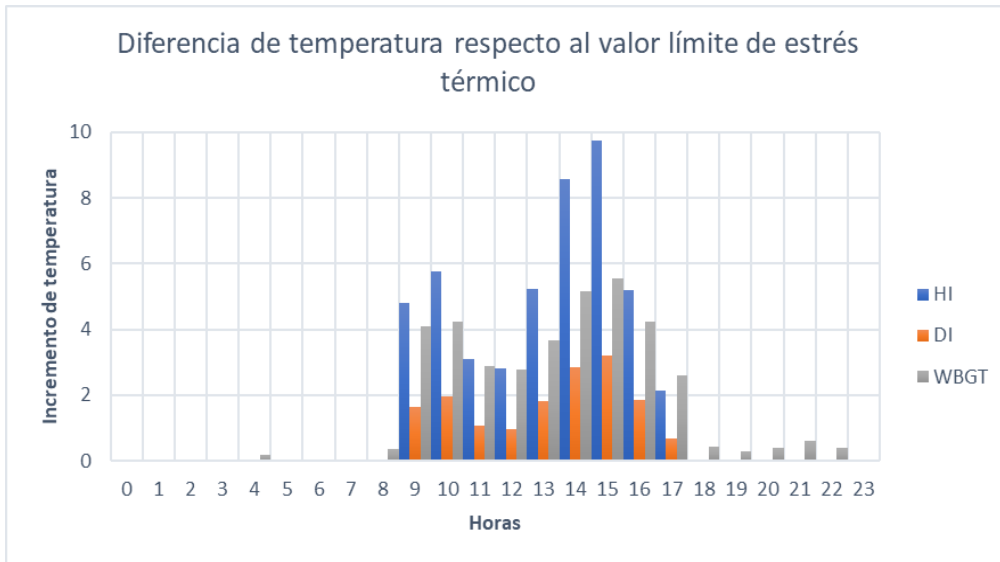


Figura 17 Temperatura excedente respecto al valor límite de cada indicador para el medidor de Viveros.

Si se comparan ambos gráficos, se observa que el periodo de tiempo considerado como situación de estrés es menor en Viveros que en Aeropuerto, además las horas más cruciales para Viveros coinciden con las primeras horas de la tarde. Siendo la máxima diferencia en grados para los tres indicadores a las 15 horas, y cuyos valores más representativos son de 9.76 °C para el HI, 3.20 °C para el DI y 5.53 °C para el WBGT.

Por otro lado, cuando se contrasta la diferencia de temperaturas entre ambos medidores, se aprecia que los valores de esta son mayores en el caso de Viveros que en el de Aeropuerto, en términos de promedio, la diferencia de valores en Viveros es 1.6 % superior a los del Aeropuerto.

Por tanto, a pesar de que se esperaba que en Viveros, debido a las sombras generadas por los edificios y la gran variedad de especies vegetales, las temperaturas marcadas por los indicadores fueran inferiores a las del Aeropuerto, para este día no se dió el caso. La razón de esta anomalía reside en la dirección del viento que soplabo ese día de Julio, un viento del Levante que se caracteriza por enfriar y refrescar la ciudad. Por lo que si se determinan las rachas de viento registradas ese mismo día en ambas estaciones, mientras que para Aeropuerto alcanzaba hasta los 21 km/h en Viveros a penas se llegaban a los 11 km/h, por lo que debido a la altura de los edificios y su disposición, actuaban como una barrera que impedía el paso de este viento hacia el interior de la ciudad.

Se procede, de la misma forma, a hacer el análisis de otro de los días en el que los valores registrados por la estación de Valencia/Aeropuerto eran reconocidos por tres de los indicadores como un día de estrés térmico.

El primero de ellos, muestra la tendencia de estos tres indicadores a lo largo de las 24 horas del día, por lo que se ratifica que las horas de peligro coinciden con las primeras horas del mediodía y de la tarde. Se observa, como a partir de las 8 horas los tres superarán el umbral límite y mantienen un crecimiento prácticamente constante hasta las últimas horas de sol, que comienzan a decrecer.

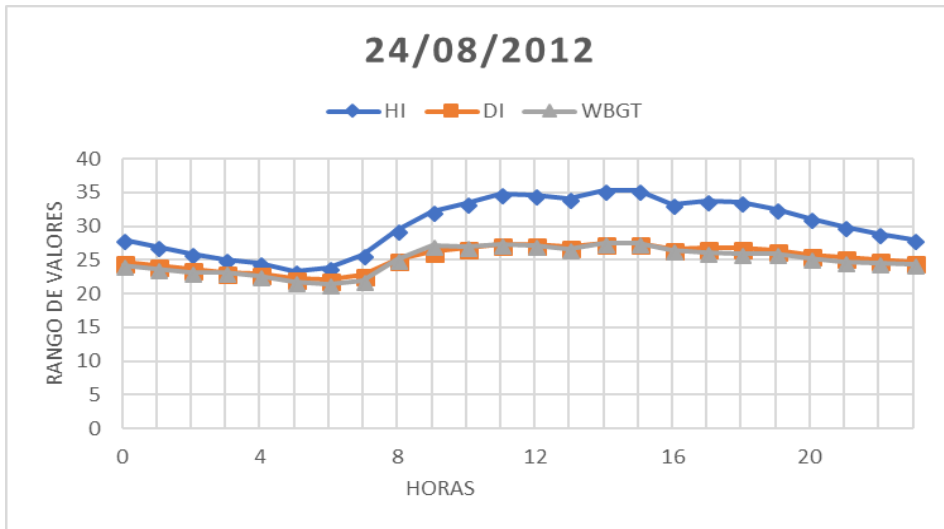


Figura 18 Representación del día 24/08/2012 según los tres indicadores.

En el siguiente gráfico, se visualizan aquellas horas del día 24 de agosto en las que se garantiza que hubo estrés térmico, esta franja horaria está comprendida entre las 10 y las 19 horas.

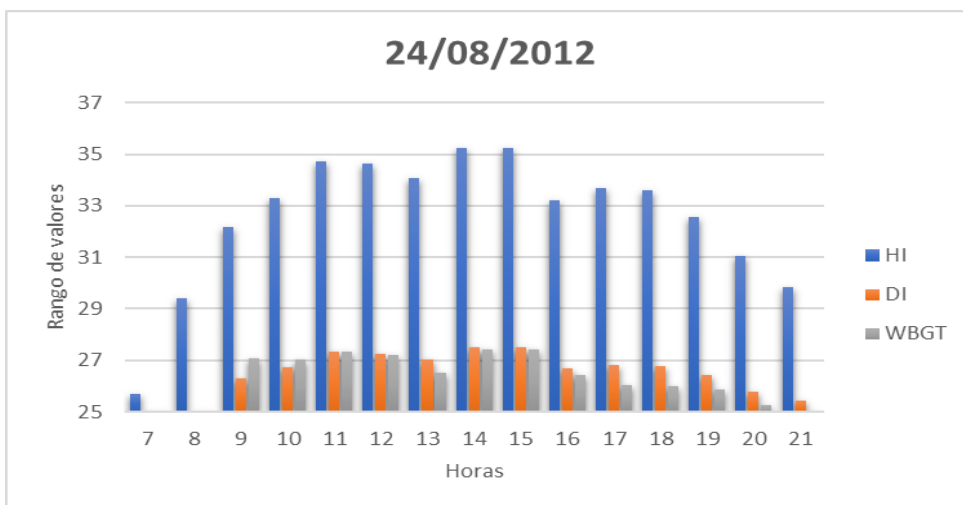


Figura 19 Horas de estrés térmico según los tres indicadores.

A continuación, se reproducen la gráficas que muestran, para ambas estaciones de medida, la diferencia de temperaturas respecto al valor máximo, por encima del cual los tres indicadores coinciden en que la salud humana se ve amenazada por las condiciones ambientales, tal y como se ha realizado para el día de julio de 2015.

La primera de ellas es obtenida a partir de los valores medidos en la estación de Aeropuerto.

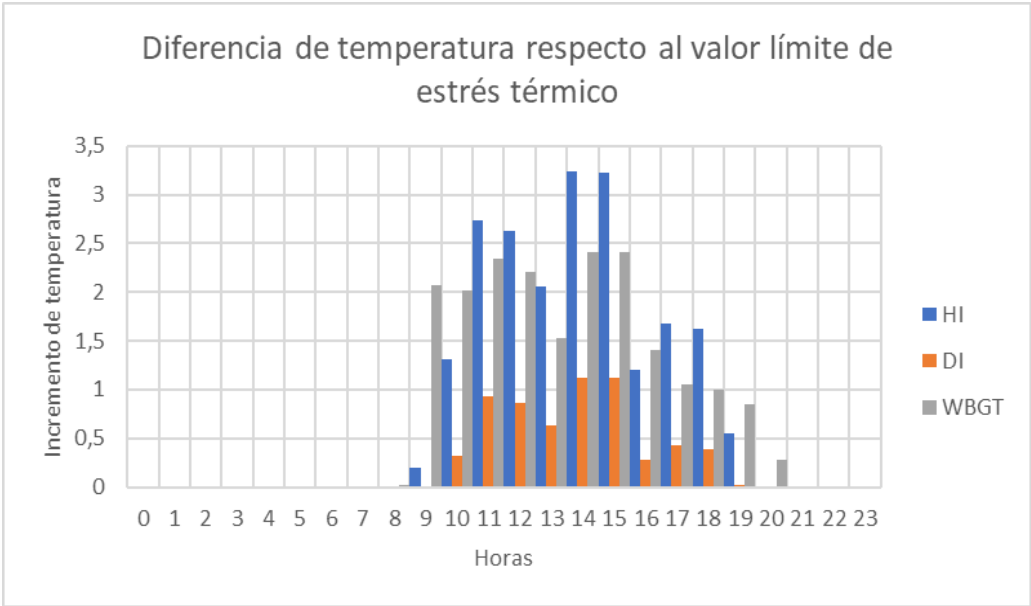


Figura 20 Temperatura excedente respecto al valor límite de cada indicador para el medidor de Aeropuerto.

Para este segundo día, las horas mas críticas en el análisis de los valores registrados en la estación del Aeropuerto son las 14 y 15 horas del mediodía, donde se sobrepasa hasta 3.24°C en el caso del HI, 1.12°C para el DI y 2.40 °C para el WBGT.

De la misma forma, para la estación de Viveros se obtiene:



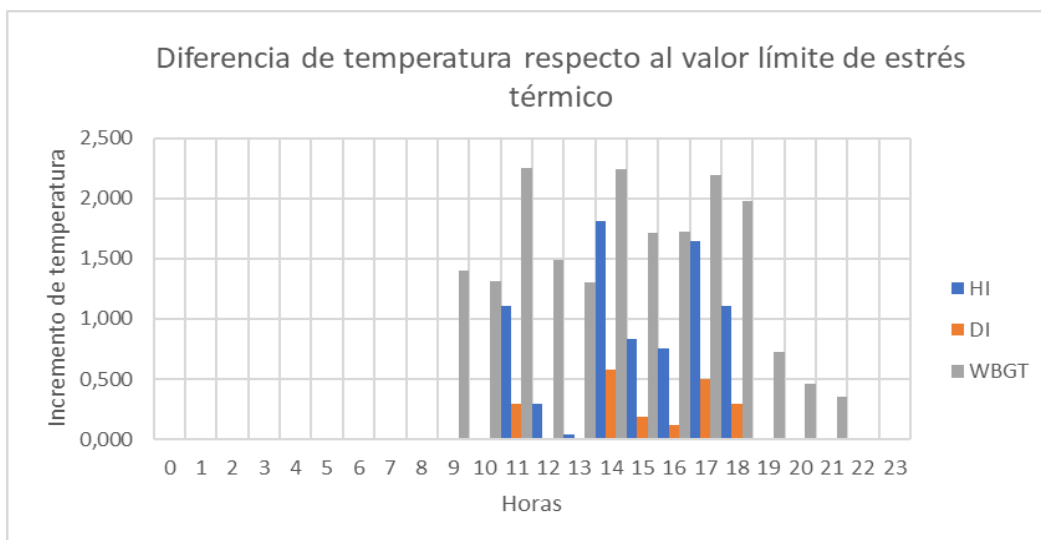


Figura 21 Temperatura excedente respecto al valor límite de cada indicador para el medidor de Viveros.

Los tres indicadores coinciden en que a las 14 horas se alcanzan los valores más agravados, siendo la variación máxima de temperatura de 1.8 para el HI, 0.58 para el DI y de 2.25 para el WBGT.

Una vez más, para el caso de Viveros se corrobora el menor número de horas en situación de estrés térmico para el mismo día en comparación con la estación del Aeropuerto, sin embargo, la diferencia de temperaturas con respecto al valor máximo alcanza en general mayores valores en Aeropuerto que en Viveros, concretamente les sobrepasan casi un 5%.

En comparación con el análisis del día 24 de Julio de 2015, los resultados obtenidos este día cumplen con lo esperado, y es que, durante el día, la cantidad de horas de estrés térmico y sus valores, fueran menores en Viveros que en el Aeropuerto debido a las sombras y a la vegetación que rodeaban la zona. No obstante, a esta particularidad se le suma además el estudio de la dirección y velocidad del viento que predominó ese día, cuya orientación provenía del Oeste y es conocido como el viento de Poniente, el cual se caracteriza por su carácter seco, que en verano colabora con la subida de temperaturas y bajada de la humedad aumentando así la sensación de calor.

En cuanto a las rachas de viento registradas, mientras que en la estación de Aeropuerto se llegaba a los 21 km/h, para la de Viveros no se sobrepasaban los 10 km/h, viéndose reflejado en este caso también, como las infraestructuras de los edificios y las variedades vegetales frenaban el paso de este viento, logrando evitar que se empeorara el estado de estrés térmico en el centro de la ciudad.

---

## 4.2 Análisis de los indicadores termofisiológicos.

Una vez realizado el análisis en Valencia de estos cinco años, a partir de valores exclusivamente climatológicos, el siguiente paso es focalizar el estudio en el barrio de Benicalap de acuerdo al proyecto.

Para ello, se va a usar Rayman, un software desarrollado por el Instituto de Meteorología en la Universidad de Freiburg, Alemania (Matzarakis y Mayer, 1999) [32]. Este modelo, permite analizar la climatología urbana a partir de los factores fisiológicos, definidos en apartados anteriores, y las condiciones ambientales. Si a esto se le suma la infraestructura de la ciudad y la disposición de los espacios verdes, se puede caracterizar el confort biometeorológico que depende directamente de estas tres vertientes.

La finalidad de este software es poder simular como el disconfort humano va disminuyendo, si para la posición analizada, se rodea bajo una corona de especies arbóreas que disminuyan la radiación directa por el efecto bóveda y generen por tanto sombras sobre el punto de estudio. Permite también examinar como varían los indicadores al medir en puntos cercanos y lejanos a los edificios.

Asimismo, tal y como se ha comentado anteriormente, el crecimiento urbano trae consigo la aparición del fenómeno efecto Isla de Calor, de manera que un incremento de superficies verdes, también ayudarían al alivio del estrés urbano nocturno.

Para el estudio que a continuación se va a detallar, los indicadores estudiados son aquellos que se han denominado como termofisiológicos, puesto que intervienen características corporales, peso, sexo, edad...

Este programa informático requiere de una serie de inputs para la realización de los cálculos, los cuales constan de información acerca de la fisiología del individuo, parámetros meteorológicos obtenidos por una estación de medida y planos que contengan medidas y emplazamientos de los edificios alrededor de los cuales se pretenda hacer el estudio.

Para el siguiente análisis, el mapa empleado es el proporcionado por Catastro, a pesar de que contiene todo el barrio de Benicalap, solamente se va a utilizar en el programa la zona que rodea el Distrito Fallero.

Se va a tomar como referencia al ser humano estándar Europeo, un individuo hipotético masculino de 1.75 m de altura, 75 kg y 35 años, con un nivel de actividad de 75 W/ 1Met (sentado) y 0.5 clo de ropa (verano) [6]. A partir de estos valores fisiológicos y los valores termohigrométricos registrados por la estación de Valencia- Aeropuerto en el periodo estival de mayo a octubre de 2015, (puesto que en el análisis del punto anterior fue considerado por todos los indicadores como el año con más horas de estrés térmico registrado) y el mapa de Catastro, se analiza el confort biometeorológico en diferentes puntos de Benicalap con y sin la presencia de las superficies verdes, para así contrastar las diferencias y mejoras en estos indicadores fisiológicos.

El primer estudio realizado, es la comparación de los indicadores PMV, PET, SET\* y Pt analizados en la parte posterior del parque de Benicalap. Este parque es uno de los espacios aprobados por el Proyecto para mejorar y renaturalizar aquellas zonas más descuidadas, en concreto la parte trasera a éste, ya que apenas dispone de vegetación ni especies arbóreas, por lo que mediante el Rayman se ha simulado como afectarían a dichos indicadores termofisiológicos la presencia de árboles.

La simulación se ha realizado con árboles de tipo deciduous (hoja caduca) cuya peculiaridad está en la pérdida de follaje en estaciones invernales, aprovechando así el paso de la radiación, y por contra, el bloqueo de ésta en estaciones estivales, debido al crecimiento de la hoja. Las características físicas de éstos árboles para ambos ensayos han sido las mismas; un radio de la copa y una longitud del tronco de unos 6m, cuyo diámetro de tronco se ha estimado 0.75m, con un coeficiente de emisión del 0.95 y el albedo de 0.3.

En la imagen adjunta se representa la zona exacta del estudio, en el que el punto de color rojo indica la localización donde se realiza el ensayo con y sin la presencia de árboles (puntos verdes) que obstruyan el paso de radiación en ese punto.

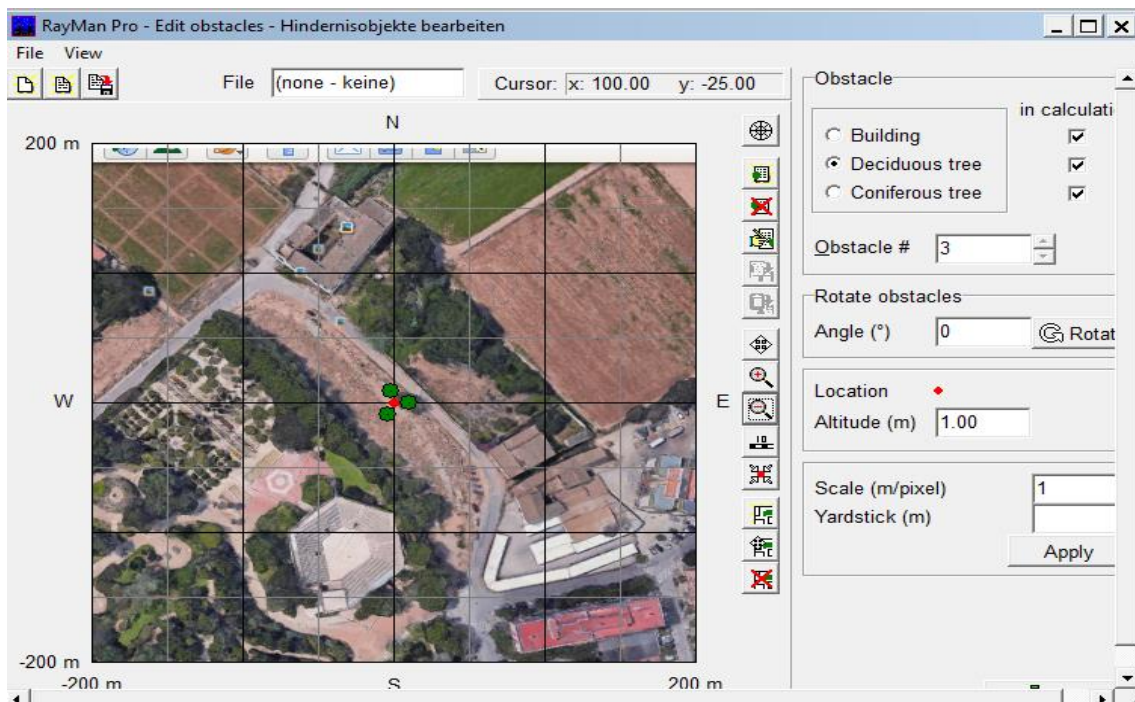


Figura 22 Zona 1 en la que se aplica la simulación del Rayman.

Como resultado de las 4416 horas de los 8 meses estudiados del 2015 se obtienen las siguientes distribuciones para los distintos parámetros analizados.

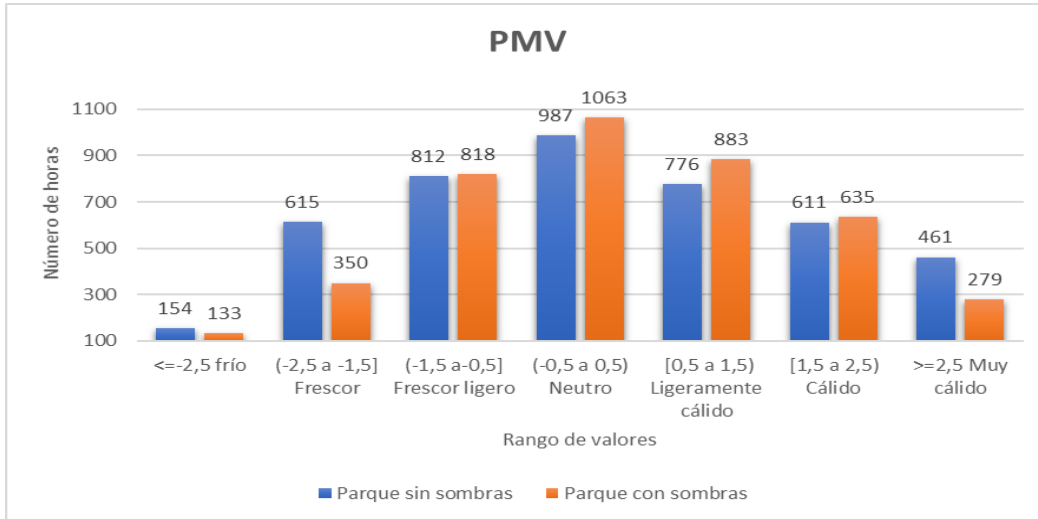


Figura 23 Resultados del indicador PMV mediante el RayMan en la zona 1.

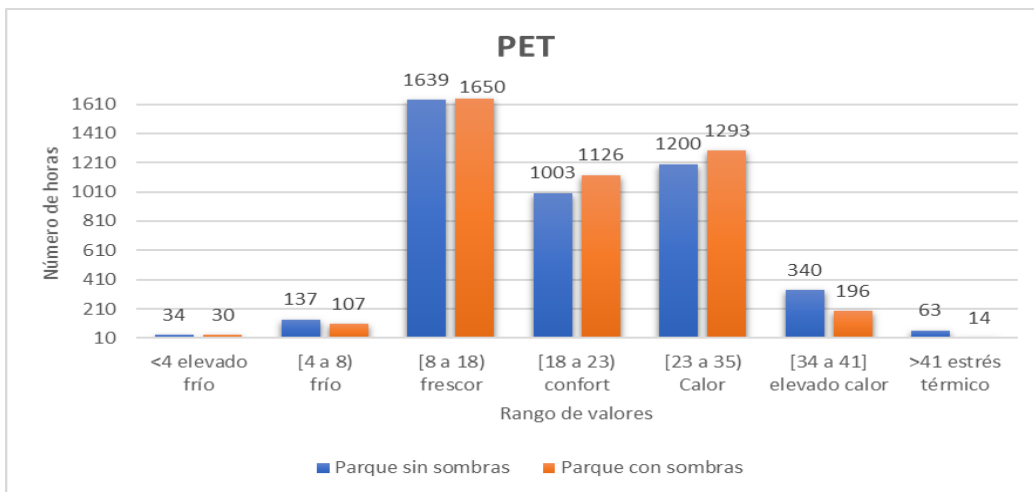


Figura 24 Resultados del indicador PET mediante el RayMan en la zona 1.

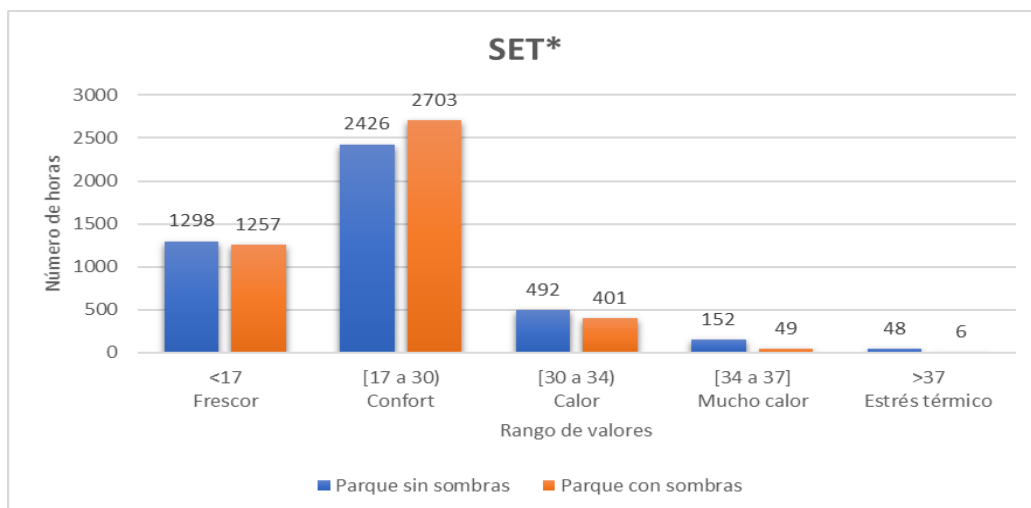


Figura 25 Resultados del indicador SET\* mediante el RayMan en la zona 1.

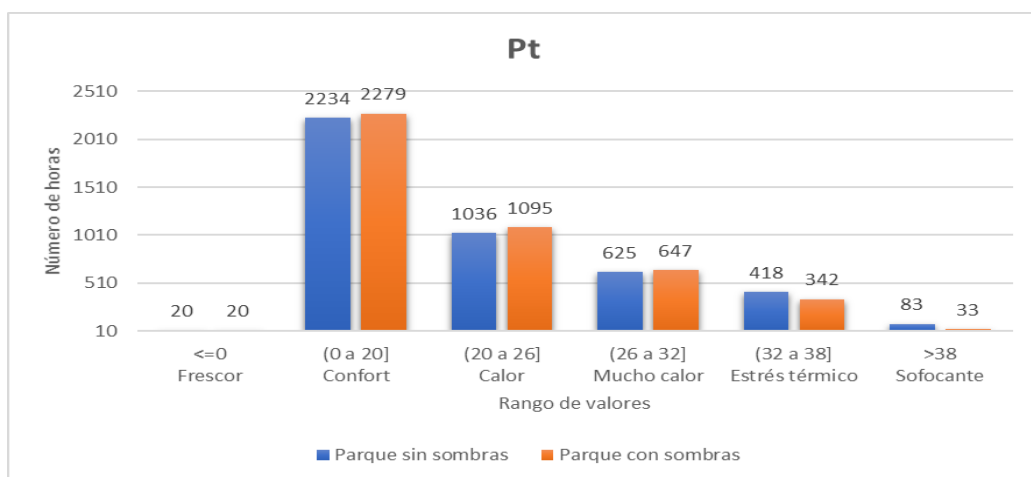


Figura 26 Resultados del indicador Pt mediante el RayMan en la zona 1.

Se puede apreciar un patrón muy similar en las cuatro gráficas de los distintos indicadores.

Con la presencia de árboles (parque con sombras) hay una disminución de las horas en las que predomina la sensación de frío y frescor, esto es debido a su capacidad de reducir la velocidad del viento en un 50% e incluso aumentar en un 10% la humedad relativa [33].

Otra evidencia se encuentra en el incremento de las horas en las que el ambiente se encuentra en una situación de confort, para el PMV se ascienden 106 horas más, 126 en el PET, 277 para el SET\* y 45 en el Pt. Por lo que los cuatro coinciden en que tras la presencia de estos árboles, las condiciones ambientales se ven aliviadas.

Por último se puede valorar como, en todos los casos, la presencia de árboles restringen sobre todo, la cantidad de horas en las que se encuentran en situación límite de disconfort y estrés

térmico. Esto es a causa del taponamiento de los rayos del sol gracias al follaje de estos y por la evapotranspiración que enfría el aire a su alrededor.

Para el primer análisis realizado sin la simulación de los árboles, hay un total de 43 horas en las que el PET, SET\* y Pt coincidían los tres al mismo tiempo, en que la situación en el ambiente era de estrés térmico, siendo 8 de ellas el 14 de mayo. Sin embargo, con la existencia de árboles en la zona, estas horas se reducen a 6, siendo 5 de ellas el 14 de mayo. Por lo que las horas conjuntas de estrés térmico se llegarían a reducir para ese año un 86% si se incorporan estas especies vegetales.

Como se ha definido anteriormente en la descripción de las líneas de actuación del Proyecto Grow Green, se pretende incorporar superficies verdes bien sean árboles o bosquetes que mejoren el confort en todo el área en general y en especial en zonas concurridas por edificios o zonas de paso.

Prosiguiendo con dichas intenciones, se va a estudiar en una de las avenidas del distrito de la Ciutat Fallera, la cual se encuentra rodeada por bloques de edificios: Se procederá a determinar de qué manera los indicadores termofisiológicos se verían mejorados en esos 8 meses del año 2015, si hubieran espacios verdes alrededor.

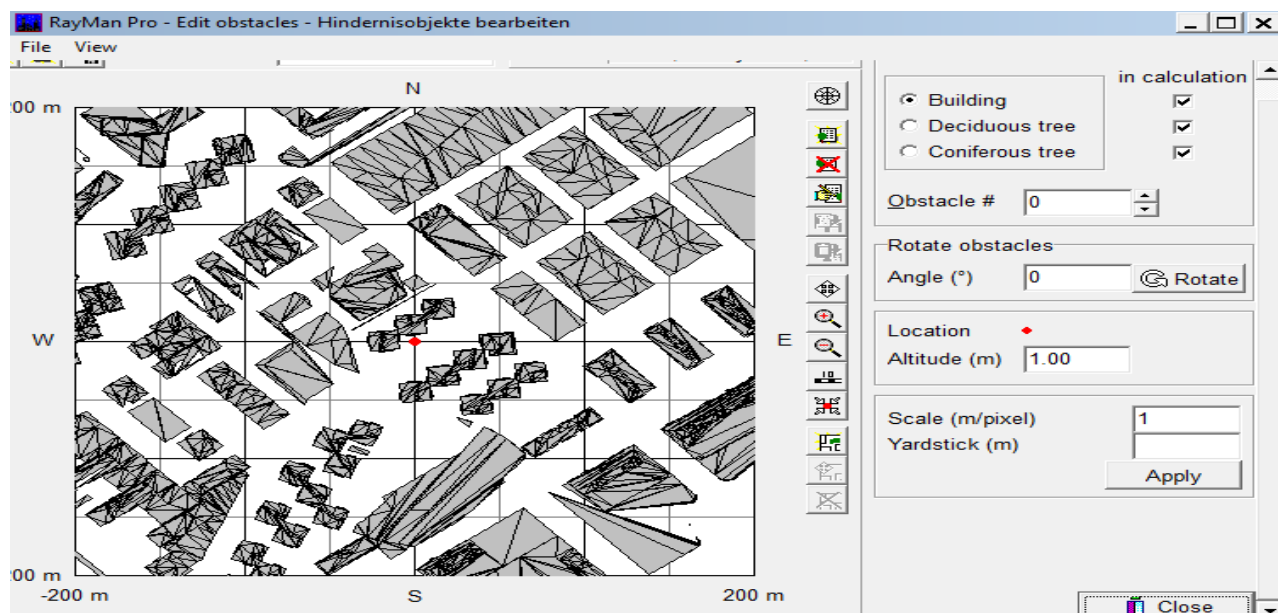


Figura 27 Zona 2.1 en la que se aplica la simulación del RayMan.

Tal y como se ha realizado en el análisis anterior, el punto rojo indica la posición en la que se realiza la simulación y corresponde a la Avenida de Sant Josep Artesà.

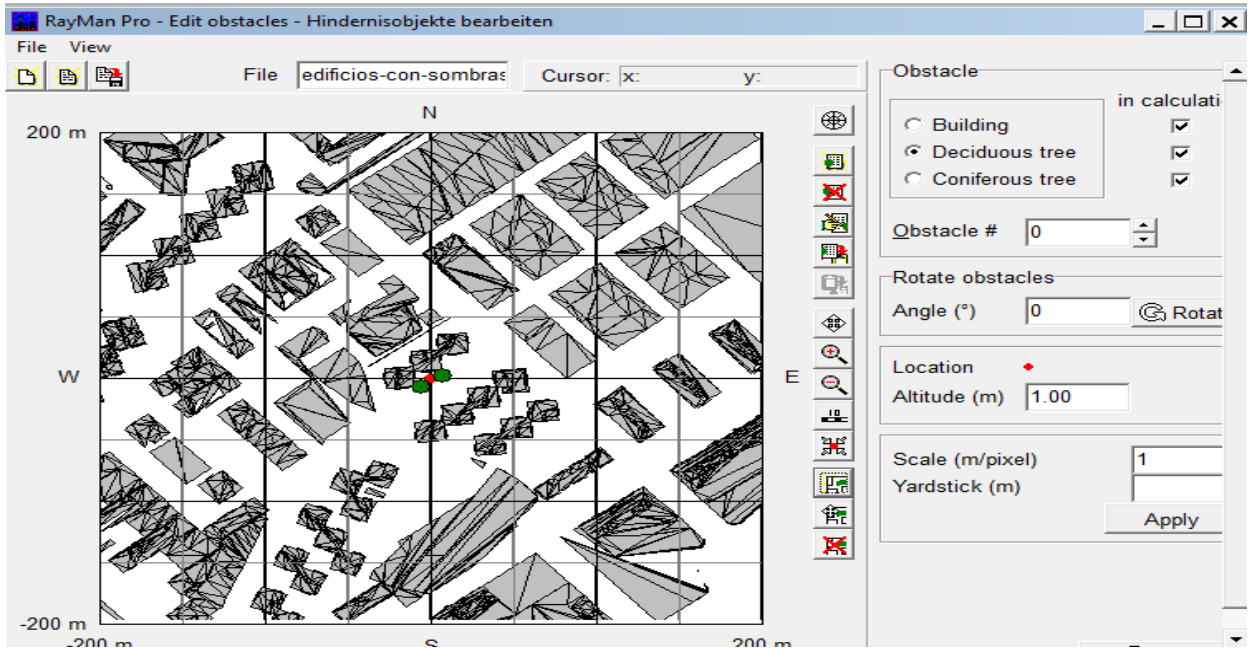


Figura 28 Zona 2.2 en la que se aplica la simulación del RayMan.

Representando esta imagen el mismo punto, pero rodeado de vegetación.

Se obtiene el análisis de los cuatro indicadores que resulta:

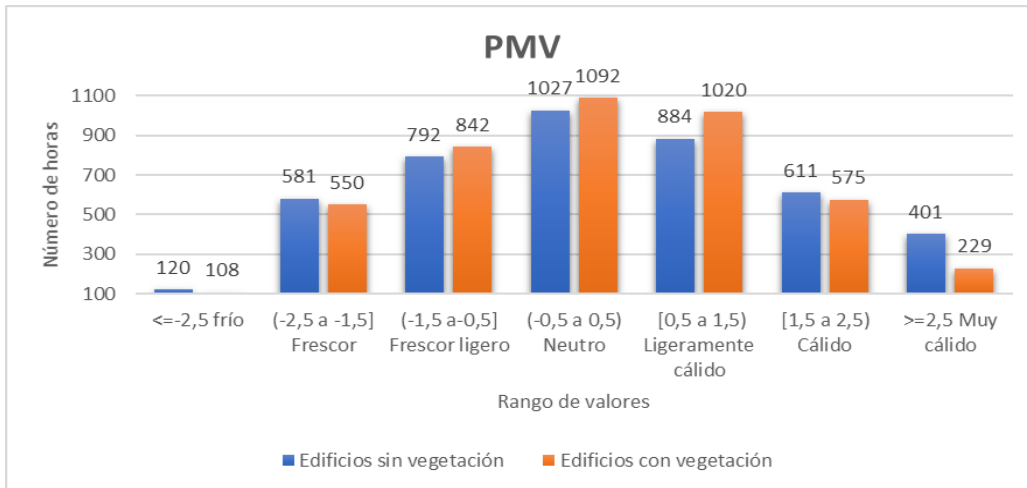


Figura 29 Resultados del indicador PMV mediante el RayMan en la zona 2.

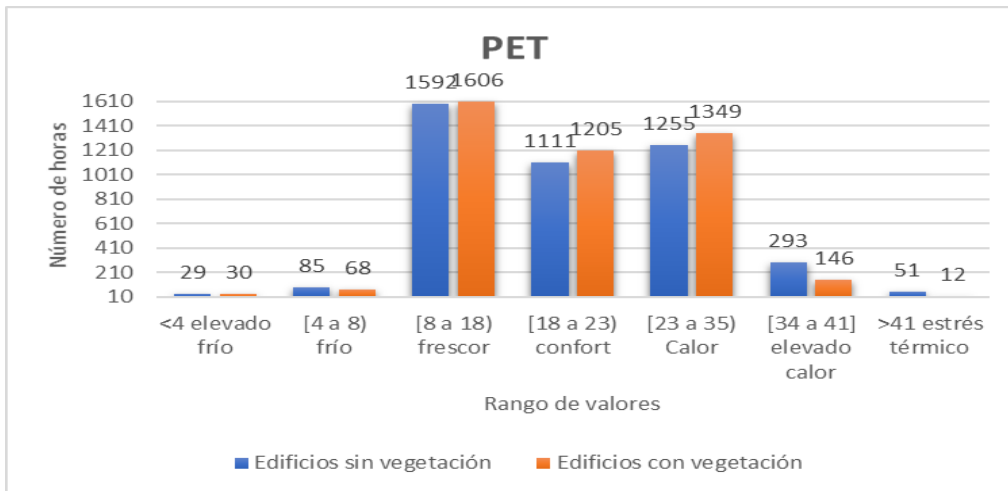


Figura 30 Resultados del indicador PET mediante el RayMan en la zona 2.

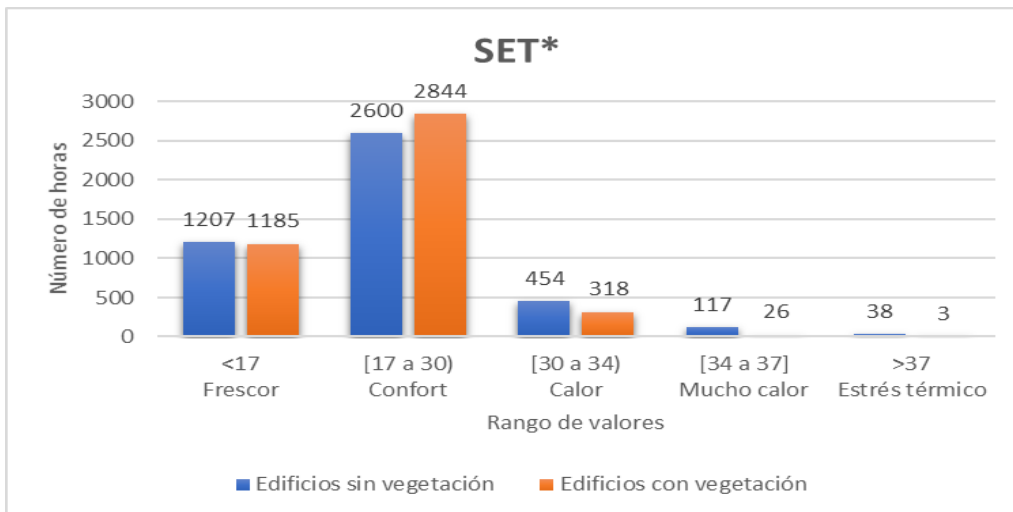


Figura 31 Resultados del indicador SET\* mediante el RayMan en la zona 2.



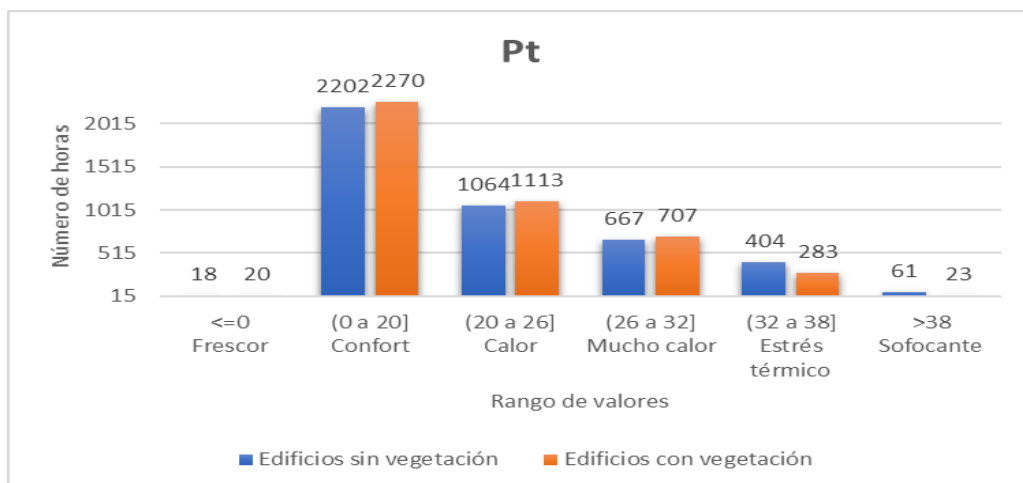


Figura 32 Resultados del indicador Pt mediante el RayMan en la zona 2.

Tal y como se esperaba, los cuatro siguen la misma tendencia de incrementar el periodo de tiempo en situación de confort a consta de verse reducida las horas de estrés térmico.

Para el caso del PMV el confort se vería incrementado en unas 65 horas, 94 para el PET, 244 en el caso del SET\* y 68 en el Pt.

Para este caso, sin la presencia de vegetación, hay un total de 30 horas en las que los indicadores coinciden en que el ambiente presentaba estrés térmico, acontecidas 7 de ellas el 14 de mayo. Sin embargo, en el caso de incorporarse estos espacios verdes, el total de horas en común descienden a tan solo 3, pertenecientes todas ellas al 14 de mayo. Por tanto, se hubieran logrado reducir un 90% de las horas en esa zona bajo las nuevas condiciones.

A pesar de las diferencias que presentan ambas zonas elegidas para el estudio: la primera de ellas próxima a la zona de campo, sin calzada cimentada ni bloques de edificios, y la segunda, rodeada de un terreno edificado y con la presencia de más viviendas alrededor; para ambos casos, se aprecia que al repoblar con espacios verdes se ayuda a mejorar la sensación y calidad del confort. Sin embargo, se percata también que, el aumento de horas de confort es más acusativo en la zona 1 que en la zona 2 debido a la ausencia de edificios o estructuras cercanas a ese terreno que bloqueen directamente la radiación solar.

---

### 4.3 Estudio del Efecto Isla de Calor (EIC).

En este apartado, se va a analizar a partir de los datos de la temperatura mínima del aire a 1-2 m sobre el suelo, obtenidas de las estaciones meteorológicas de medida de Valencia/Aeropuerto y de Viveros, el EIC, su cuantificación y su patrón espacial, ya que como se ha desarrollado en el apartado anterior, este efecto se caracteriza por la diferencia de temperaturas que se dan dentro de una misma ciudad con sus alrededores, por lo que se podrá comprobar este hecho mediante las temperaturas obtenidas por un medidor en la zona urbana, “la estación de Viveros”, situada a 1 km de distancia del viejo centro de la ciudad, donde se encuentran en el lado de los parques verdes y cerca de las áreas residenciales.

Por otro lado, está el medidor más alejado del centro de la ciudad, “la estación del Aeropuerto”, situado a las afueras de Valencia y a 10 km de distancia del centro de esta. Se podrá averiguar en qué momento esta diferencia ha sido máxima y mínima y empezar a extraer posibles conclusiones.

Caracterizando un poco la ciudad de Valencia, se resaltan varios puntos como su clima, el clima Mediterráneo sub-árido, en el que destaca el calor húmedo de los veranos, lo cual hace que el clima cálido sea menos confortable tal y como se ha estudiado en el punto anterior.

La radiación solar en Valencia tiene una duración aproximadamente de 2660 horas, con un promedio de 10 horas en el mes de Julio, otra característica importante a destacar son sus diferencias territoriales, el territorio se encuentra dividido en 19 distritos, dispone de una extensión de superficie urbana de más de 36.3 km<sup>2</sup>, mientras que la ubicación de parques, ríos, jardines y en general, superficies verdes contribuyen con 8.8 km<sup>2</sup>.

El análisis que se va a realizar, se va a basar en la comparación de las temperaturas mínimas de ambos medidores, puesto que el efecto isla de calor se manifiesta por la noche en el momento en el que empieza a desprenderse el calor acumulado. Se podrá además evaluar el número de noches tropicales, cuya temperatura mínima sea superior a los 20°C.

Para ello se va a proceder a determinar la diferencia de temperaturas de ambos medidores, puesto que, por el día, prácticamente y salvo en casos puntuales, esta diferencia será insignificante, sin embargo, por la noche se alcanzan diferencias importantes que recorren desde los 0.9°C a los 5.6°C.

Analizando las temperaturas proporcionadas por ambos medidores, se observa que las temperaturas máximas dadas con la luz del sol incidiendo, el 64.58% de los cinco años estudiados, (1188 días), son superiores en el medidor del aeropuerto, debido a las pocas sombras y al escaso nivel de vegetación, ocurriendo por tanto que el suelo y el ambiente se caliente más debido a la insolación directa, este hecho es conocido como el Efecto negativo de Isla de Calor. Es por ello por lo que, en las áreas urbanas durante el día, son más frías debido a las abundantes sombras de los edificios. Se puede destacar tres días en los que la temperatura máxima medida en el aeropuerto marcaba una gran diferencia con respecto al de Viveros.

Fecha	T.max Aeropuerto (°C)	T. max Viveros (°C)	Diferencia
04/06/2014	33.7	26.4	7.3
28/06/2012	36.2	30.8	5.4
06/06/2012	33.4	28.4	5

Tabla 14 Ejemplo de días en los que se aprecia el Efecto negativo de Isla de Calor.

Siguiendo con el estudio del efecto negativo de isla de calor, en estos cinco años, ha habido 44 días, en los que la diferencia entre ambas temperaturas ha sido nula, estando 30 de esos 44 días en las estaciones de otoño e invierno, 7 días en la estación de primavera y los 7 restantes en verano. En cuanto a las mínimas diferencias, éstas oscilan la mayor parte del tiempo entre 0.1-0.2 y así hasta los 4°C. Para concluir con este análisis, el 30.32% de las veces, la temperatura máxima en Viveros ha sido mayor que la del Aeropuerto, donde la máxima diferencia es de 3°C, dados el día 02/12/2014, junto con 2.6°C acontecidos el día 29/02/2016.

Al verse este hecho la mayor parte del tiempo en invierno que en verano, puede ser en general, consecuencia del bloqueo de los edificios de los vientos fríos procedentes del Este y del Norte, consiguiendo atenuar la sensación de frío y que las temperaturas no bajen tan abruptamente, tal y como se ha visto en el ejemplo del apartado anterior.

Por último, hay que comentar que el 2.40% de los días no se puede saber las diferencias en la temperatura debido a la carencia de datos por parte de una de las dos estaciones.

A modo resumen:

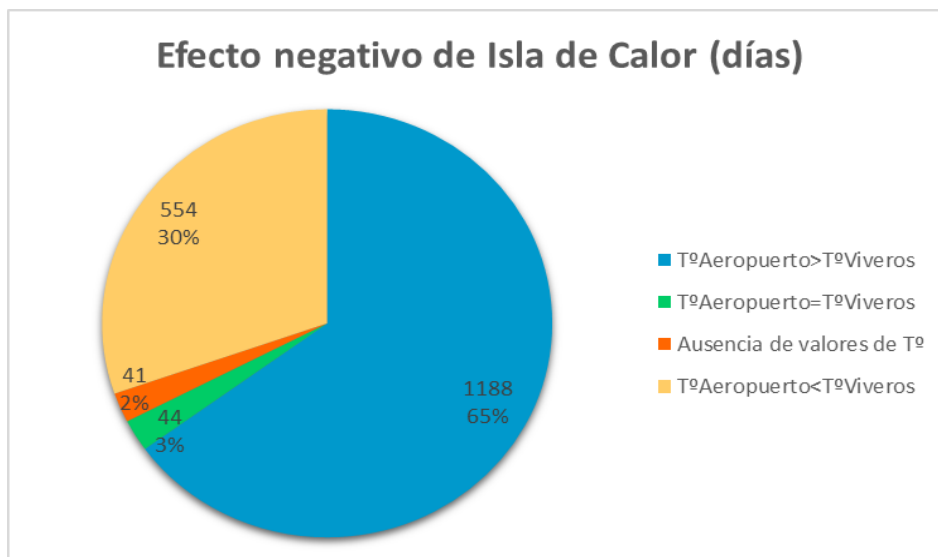


Figura 33 Cuantificación de los días acontecidos como Efecto negativo de Isla de Calor.

A continuación, se va a proseguir realizando el mismo análisis, pero con las temperaturas mínimas, en el que se podrá apreciar más el contraste entre ambos medidores.

El número de días en el que la diferencia de ambas temperaturas es nula, es de tan solo 10 y corresponden a los meses de mayo, junio, agosto y octubre de 2012, enero, mayo, junio y agosto de 2014, mayo de 2015 y el último registrado en septiembre de 2016.

Por otro lado, el número de días en los que la temperatura mínima medida es menor en la zona urbana que en la sub-urbana, es de 33, por lo que es propio razonar que solamente un 1.80% en estos cinco años no se cumple el EIC. De todo el periodo estudiado, un 2.79% no se conoce si se cumple o no dicho efecto por lo comentado anteriormente de la ausencia de datos de temperatura mínima.

Siendo por tanto 1733 días (94.85%) de los 1827 estudiados en los que se cumple el EIC.

En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de tiempo, de los valores en los que se dispone de información, la diferencia de temperaturas mínimas nocturnas de ambas estaciones de medida. En el que se aprecia, que la mayor variación de temperatura entre ambos oscila entorno a los 0 y 4 °C.

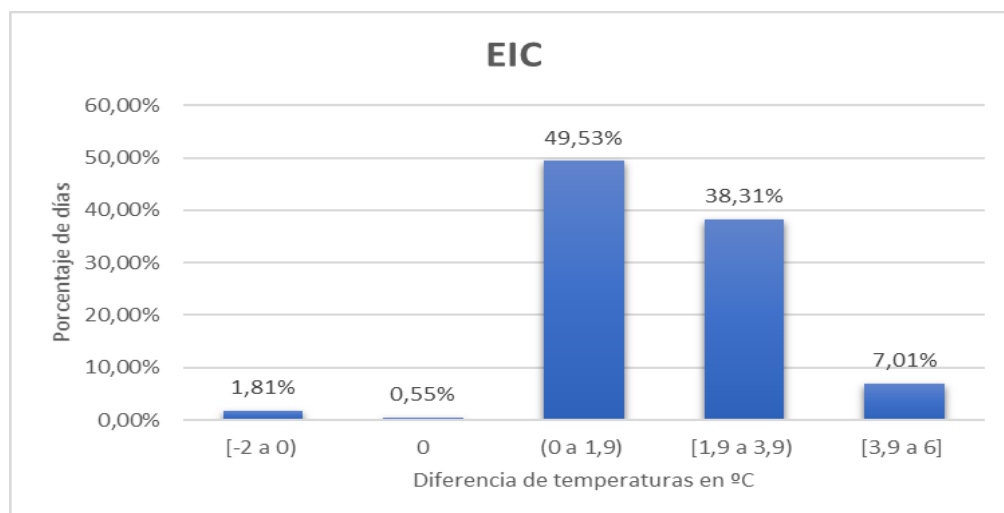


Figura 34 Distribución de los días según la diferencia de temperaturas mínimas.

Se puede observar en la siguiente tabla, varios ejemplos de días en los que la variación de temperaturas se encuentra ubicada en uno de los tres rangos descritos.

Fecha	Tmin (°C). Aerop	Tmin (°C). Viveros	Diferencia de T
17/02/2016	-1.5	4.1	5.6
03/01/2016	4.6	10.1	5.5
15/03/2012	4.3	8.5	4.2
25/01/2014	11.1	14.9	3.8
14/05/2016	11.4	14.6	3.2
31/01/2014	7.8	10.7	2.9
27/09/2013	19.3	21	1.7
22/08/2014	23.6	23.8	0.2

Tabla 15 Ejemplo de días en los que se aprecia el Efecto Isla de Calor.

Para concluir con este estudio, se va a proceder a comparar hora a hora como va variando la temperatura de ambos medidores, para los dos días con mayor temperatura registrada hasta la fecha.

El segundo día, fue anotado el 26 de agosto de 2014, en el que la temperatura durante el día llegó a alcanzar los 42.2°C (medido en el Aeropuerto), al que se le suma, el efecto del viento de poniente, un viento procedente del Oeste y cuyo efecto, sobre todo en verano, es subir la temperatura del aire y reducir la humedad del ambiente, por lo que en este día se ha llegado a alcanzar los 33 km/h registrados al medio día.

Durante las horas nocturnas, la temperatura fue superior a los 22°C, considerándose como una noche tropical, en la siguiente tabla, se puede observar estas diferencias de temperatura entre ambos medidores.

Horas	0:00	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Aerop T(°C)	23,5	22,8	22,8	21,9	21,5	20,8	21,1	23,5	28,4	31,9	35,3	38,9	40,3	41	41,9	41,9	41,9	35,6	31,5	29,2	28,4	27,5	26,5	25,1
Viver T(°C)	24,2	23,8	23,4	23,8	23,1	23,1	22,4	23,2	26,6	30,5	33,9	38,1	39,7	40,4	41,2	35,1	35,5	31	29,2	27,8	27,3	27,2	26,7	25,8
Dif	-0,7	-1	-0,6	-1,9	-1,6	-2,3	-1,3	0,3	1,8	1,4	1,4	0,8	0,6	0,6	0,7	6,8	6,4	4,6	2,3	1,4	1,1	0,3	-0,2	-0,7

Tabla 16 EIC el día 26/08/2014.

Dicha tabla representada a modo de gráfica queda:

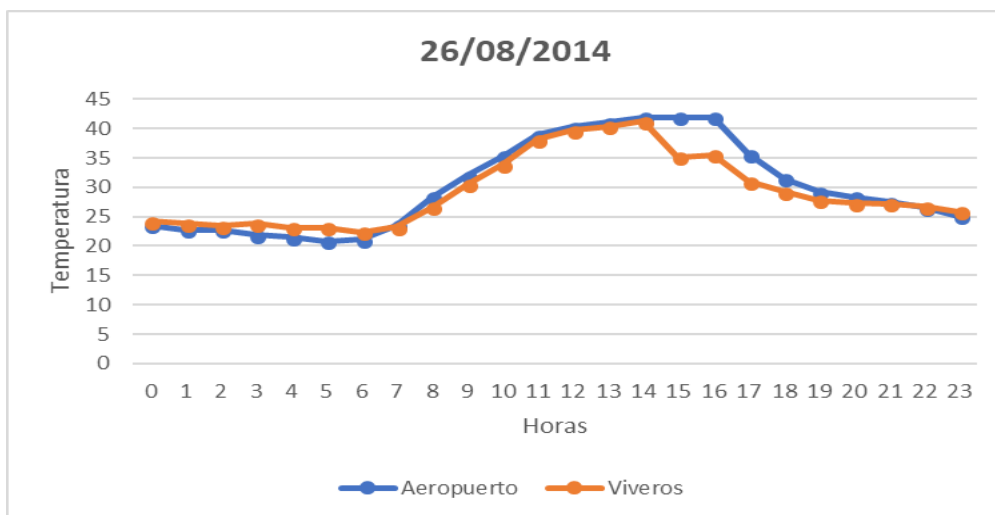


Figura 35 Representación del EIC el día 26/08/2014.

Interpretándola, se contempla que sucede lo comentado anteriormente, durante el día, las zonas rurales o sub-urbanas alcanzan temperaturas más elevadas ya que se recibe de forma directa una mayor cantidad de insolación, destacándose sobre todo las primeras horas de la tarde, sin embargo, en las zonas urbanas son relativamente más frescas gracias al fenómeno de las sombras. Este día en concreto, la diferencia de temperaturas entre ambos sectores alcanzó casi unos 7°C durante las horas de sol, sin embargo, al ponerse, se observa que las temperaturas descienden más lentamente en la zona urbana llegándose a una diferencia de 2.4°C, contemplándose por tanto el Efecto Isla de Calor.

El primer día registrado, tuvo lugar el 14 de mayo de 2015, en el que se puede apreciar de igual forma el EIC, sin embargo, la diferencia de temperaturas son menores ya que al no tratarse de un mes veraniego, se recibe una menor radiación solar, es por ello por lo que esta diferencia es menos pronunciada, ya que las sombras ya no juegan un papel tan importante, el interés se encuentra en la abundancia y altura de los edificios por el hecho de bloquear el paso del aire, ya que para este día se registraron también rachas de viento de hasta 40 km/h, correspondiente a un viento de poniente y fue el causante de unas temperaturas tan elevadas.

Horas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Aerop T(°C)	20,6	19,7	19,4	19,1	18,8	18,6	20,2	24,7	29,7	34,1	36,9	39,7	40,2	41,1	42	42,5	41,9	40,8	39,1	36	35	33,1	26,8	25
Viver T(°C)	20,5	20,5	19,9	21,1	20,5	20,3	20,7	23,2	26,3	31,2	36,5	38,3	39,9	40,8	40,8	41,5	41	40	38,8	37	34,9	30	26,7	24,5
Dif	0,1	-0,8	-0,5	-2	-1,7	-1,7	-0,5	1,5	3,4	2,9	0,4	1,4	0,3	0,3	1,2	1	0,9	0,8	0,3	-1	0,1	3,1	0,1	0,5

Tabla 17 EIC el día 14/05/2015.

Se ve por tanto como durante las horas de sol, las temperaturas de Aeropuerto son superiores a las de Viveros ocurriendo lo contrario cuando se pone el sol.

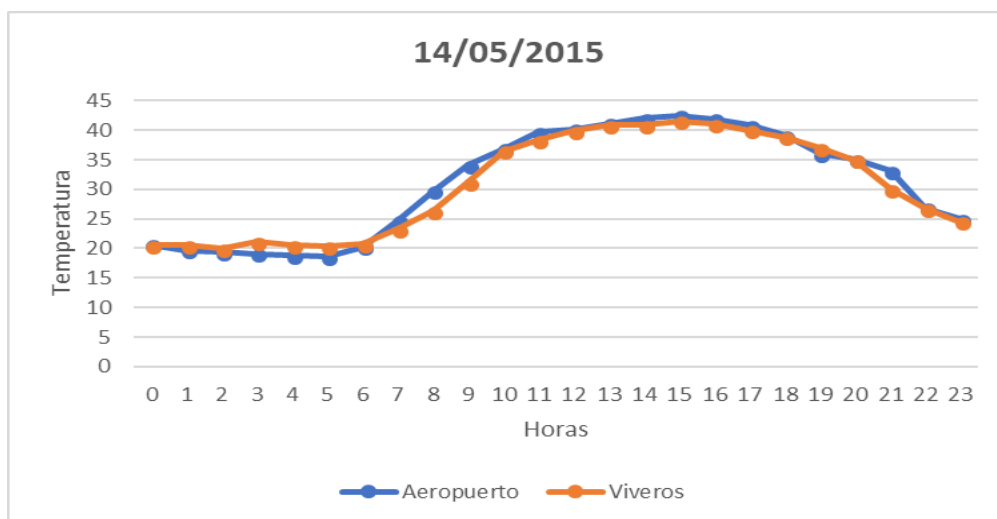


Figura 36 Representación del EIC el día 14/05/2015.

Los datos con los que se ha realizado el estudio anterior, son los tomados mediante la temperatura del aire con un termómetro, por lo que si se hubieran obtenido las temperaturas medidas con un termómetro de infrarrojos, se podría observar como va variando el EIC a lo largo de todo el territorio valenciano. Se podría destacar también, que durante el día habría una diferencia de temperatura con respecto al medidor de temperatura del aire en Viveros, cuya diferencia podría ser hasta de 6°C, sin embargo por la noche, la diferencia sería más moderada, no alcanzando los 2°C debido al alto porcentaje de absorción del asfalto.

---

## **5. DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE MEDIDA.**

Siguiendo con el tercer punto de ejecución del proyecto Grow Green, la siguiente línea de actuación es la instalación de una red de monitorización que mida de forma continua los parámetros termohigrométricos necesarios para seguir determinando la evolución del desconfort y estrés térmico en el barrio de Benicalap. Además, se seguirán utilizando los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas de Viveros y de Valencia/Aeropuerto, para estimar de manera conjunta, las condiciones de contorno de toda el área.

Estos medidores deberán permanecer midiendo al menos 3 años, según lo exigido por el proyecto, y podrán permanecer en funcionamiento hasta 5 años más, según se comprometió el Ayuntamiento de Valencia.

### **5.1 Parámetros de medida**

Para definir cómo va a ser la red de medida, es necesario conocer qué parámetros son los mínimos y necesarios para evaluar dichos indicadores. El objetivo buscado es evaluar los valores meteorológicos necesarios, tratando de simplificar al máximo posible el coste económico de esta instalación de medida.

Según el análisis efectuado en el capítulo anterior, los parámetros que se han necesitado para los cálculos han sido la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento, la temperatura de globo negro y la radiación, por tanto, la red de medida necesaria deberá disponer de al menos un sensor para la medida de cada uno de estos parámetros.

La temperatura del aire seca, es necesaria para poder estudiar el balance térmico entre el ambiente y la persona, puesto que interviene en la transferencia de calor por convección y transpiración. El aparato de medida consiste en una sonda de temperatura, la cual debe disponer de un rango de medida de 10 a 40 °C si se desea determinar el confort, y de aproximadamente -40 a 120 °C para estudiar el estrés térmico [10].

Para poder garantizar una medición correcta de esta magnitud, es necesario emplear una protección del equipo de medida, en primer lugar, es imprescindible proteger la sonda de medición de un sobrecalentamiento procedente de la radiación, para ello la norma ISO 7726.1998 [10] sugiere el uso de un material metálico reflectante de 0.1-0.2 mm de espesor [8], [10] tal es el caso del aluminio, acero de níquel o un material de plástico duro, que impida el paso de la radiación de calor sobre el bulbo del termómetro, este material se dispone en forma de bloques de pantalla espaciados lo suficiente para permitir la circulación del aire de manera natural. La segunda finalidad de este protector, es evitar la condensación sobre el sensor de la lluvia y del vapor de agua.

La temperatura de globo negro, es un parámetro que permite hallar la temperatura radiante media, y es necesario además para calcular el indicador definido anteriormente como WBGT, este



---

valor se determina mediante un sensor de temperatura, (con el mismo intervalo de medida que el mencionado en el punto anterior), encerrado por una esfera de color mate, habitualmente negra, o por medio de un recubrimiento electroquímico, [10] con una longitud recomendada de 15 cm de diámetro, (debido a que valores inferiores de diámetro, conllevan a inexactitudes en la mediciones). Este globo negro, está constituido por un material con una buena conductividad térmica, como es el caso del cobre y cuyo espesor oscila entre 0.05 y 0.2 mm.

El funcionamiento del globo, es captar las diferentes fuentes de radiación que lo rodean y por tanto calentarse para posteriormente, intercambiar el calor por convección al ambiente cuando la temperatura del aire sea menor, y así enfriarse. Simulando con todo esto el comportamiento del cuerpo humano cuando está sujeto a los flujos radiantes de las diferentes fuentes de calor que lo envuelven.

La norma también señala, que en el caso en el que la radiación sea heterogénea (no se pueda considerar uniforme alrededor del individuo), es necesario disponer de tres globos negros distanciados una altura que simule la extremidad inferior, el tronco y la cabeza de la persona, para posteriormente hacer la media ponderada según [1]:

$$TRM = (k_c * TRM_c^4 + k_t * TRM_t^4 + k_p * TRM_p^4)^{0.25}$$

Siendo los factores correctores:

$k_c = 0.1$  (para el globo situado sobre el nivel de la cabeza).

$k_t = 0.5$  (para el globo situado a nivel del tronco).

$k_p = 0.4$  (para el globo situado a nivel de los pies).

El siguiente parámetro que es necesario medir para tener caracterizado el estrés térmico es la humedad relativa (HR), se trata de un cociente expresado en forma de porcentaje que relaciona la presión parcial de vapor de agua en el aire húmedo y su presión de saturación, para unas mismas condiciones de presión total y temperatura. Para su determinación se emplea un higrómetro de capacitancia, el cual consiste en un sensor que mide como la variación eléctrica va haciendo que el material se caliente, y se mide la cantidad de vapor de agua que se evapora y es absorbida por la humedad del ambiente.

Para garantizar el funcionamiento adecuado del higrómetro, es imprescindible que el detector se encuentre protegido de la radiación mediante el uso de pantallas protectoras, las cuales además permitan la circulación del aire a través del sensor, pero a la vez estén distanciadas de forma que bloqueen el paso de velocidades que sobrepasen un cierto valor indicado por el fabricante.

Asimismo, es necesario también un suministro continuo de alimentación eléctrica para poder medir los valores de HR y evitar el deterioro del medidor.

---

Otra magnitud que es necesaria conocer para caracterizar el ambiente térmico es la velocidad del viento, puesto que proporciona información de la transferencia de calor que se produce entre el cuerpo humano y el ambiente. El intervalo de medición que un medidor debe disponer para poder caracterizar el confort es de 0.05 a 1 m/s, y para detectar y cuantificar el estrés térmico debe ser de al menos de 0.2 a 20 m/s [10].

Debido a las fluctuaciones en la velocidad y en la dirección del aire, un medidor cuya sensibilidad a estas fluctuaciones sea alta, proporcionará valores muy exactos a costa de encarecer el coste de la instalación.

En la práctica existen varios tipos de anemómetros que miden en una, dos direcciones o en todas, sin embargo, el más común y el que se va a proponer para el diseño de la estación de medida es el anemómetro de sensor de esfera caliente omnidireccional, cuyo funcionamiento se basa en medir el intercambio de calor por convección entre el ambiente y un sólido con forma de esfera, el cual es calentado por medios eléctricos hasta alcanzar una temperatura superior a la del aire. Esta sonda dispone de dos sensores de temperatura, uno que mide la temperatura del aire y otro que mide la del objeto calentado y se cuantifica, según la velocidad del aire, el calor transferido al medio por el sólido. También se puede emplear y se va a proponer el anemómetro de rotación que, mediante el giro de las hélices activa un generador eléctrico que proporciona una alta precisión en la medida, además, mide velocidades más altas que el omnidireccional.

En lo que respecta a la precipitación, en caso de necesitarse, y a la radiación solar, que sí es necesaria para el análisis, se pueden aprovechar los valores proporcionados por las estaciones de Valencia-Aeropuerto y Viveros.

La radiación depende sobretodo de la latitud y puede verse afectado por los fenómenos locales de nubosidad, sin embargo, dado que la distancia entre Benicalap y las estaciones meteorológicas es menor de 10 Km, resulta aceptable considerar que hay la misma radiación y así prescindir de un medidor de radiación para cada punto de estudio que encarecería los costes.

Para estimar los valores de la temperatura de bulbo húmedo, necesaria para evaluar el indicador de WBGT, se va a proceder a aplicar una ecuación que relaciona la temperatura con la humedad, debido a que estas estaciones de medida están diseñadas para no tener una vigilancia y supervisión constante; por tanto, si se quiere instalar un sensor de temperatura de globo húmedo que proporcione valores adecuados, se debe garantizar en todo momento que el sensor esté recubierto por una tela humedecida con agua destilada, en consecuencia, necesitaría una inspección constante lo que encarecería los costes y como se ha comentado no es el objetivo de esta red de medición.

La ecuación con la que se va a estimar el valor es la siguiente [25]:

$$T_h = T - (0.0121 * T + 0.2305) * (T - T_r)$$

$$T_r = T + 35 * \log\left(\frac{HR}{100}\right)$$

Siendo T la temperatura del aire en °C y Tr la temperatura de rocío en °C y HR la humedad relativa en %.

Una vez identificado lo que se va a medir el siguiente paso es encontrar equipos comerciales con un certificado de calibración para evaluar estos parámetros.

## 5.2 Equipos comerciales

PCE Ibérica, Vaisala, Michell, son varias de las empresas encargadas de la fabricación y distribución de equipos de medida, por lo que para confeccionar el sistema de montaje sería necesario disponer de los equipos que a continuación se van a especificar y posteriormente en el apartado de anexos se adjuntarán sus fichas técnicas. Además, será necesario un material de sustentación y protección de los equipos, ya sea para proteger los sensores de la radiación y condensación del agua o bien para protegerlos de agentes externos, ya que son equipos que van a colocarse a la intemperie durante un largo periodo de tiempo sin apenas vigilancia.

Los equipos necesarios para efectuar las mediciones son:

Equipo de medida	Empresa	Descripción	Características	Norma
Sonda de temperatura TP3207.2.	PCE Ibérica.	Sonda para medir la temperatura del aire.	Sensor tipo PT100 con película, resolución de 0.1°C y campo de medida de -40 a 100°C.	ISO 7726 ISO 7243 ISO 8996
Sonda globotermómetro TP3275.	PCE Ibérica.	Sensor de temperatura radiante media encerrado en un globo negro.	Sensor tipo Pt100 con un diámetro de globo de 150 mm.	ISO 7726 ISO 7243 ISO 8996
Sonda de alambre caliente omidireccional AP3203.	PCE Ibérica.	Apta para medir la velocidad del viento y los indicadores de PMV y PPD.	Rango de velocidad del aire de 0.05 a 5 m/s, temperatura de 0 a 80 °C	ISO 7726 ISO 7243 ISO 8996
Anemómetro PCE-ADL 11.	PCE Ibérica.	Mide la velocidad en diferentes unidades y puede anclarse a un dispositivo de montaje.	Medición de 1.2 a 30 m/s y resolución de 0.01 m/s.	ISO 7726 ISO 7243 ISO 8996
Sonda combinada de temperatura y humedad relativa HP3217R.	PCE Ibérica.	Apta para determinar la HR y el PMV Y PPD.	Sensor HR capacitivo y sensor de temperatura Pt100.	ISO 7726 ISO 7243 ISO 8996
Escudo multiplato para sensores climatológicos.	ControlTemp.	Escudo de radiación multiplato para proteger los sensores de temperatura y humedad.	Placa de 210 mm de diámetro, proporciona el máximo ángulo de elevación solar y reflectancia del suelo.	ISO 9001: 2015

Tabla 18 Equipos comerciales para la estación de medida.

---

La normativa técnica de referencia que siguen estos medidores son:

ISO 7726: Según el índice de WBGT evalúa el estrés térmico al que el individuo se encuentra expuesto por permanecer en lugares calientes.

ISO 7243: Instrumentos que estiman la ergonomía de un lugar a través de la medición de las cantidades físicas.

ISO 8996: Determinación del metabolismo energético de acuerdo con la ergonomía del lugar.

ISO 9001:2015 Sistema de gestión de calidad.

Estos equipos de medida, pueden ser utilizados tanto para espacios abiertos como cerrados; sin embargo, para este proyecto se van a utilizar para medir superficies abiertas a la atmósfera.

Como elementos adicionales necesarios para confeccionar esta red de monitorización portátil, es necesario un trípode o un sistema de sustentación que albergue de manera compacta todos los medidores.

Además, es necesario un datalogger de gran capacidad como sistema de adquisición de los datos que han sido tomados por las sondas. La frecuencia de toma de medidas se espera que ronde de 15 minutos a una hora y la localización de los equipos de entre 2 a 4 metros sobre el suelo.

El último punto a tratar para terminar el posible diseño de esta red, es la necesidad de un suministro eléctrico para poder mantener los equipos en funcionamiento, además de disponer de comunicación inalámbrica para poder adquirir cada cierto tiempo los datos registrados y almacenados.

La solución que se propone es adjuntar a cada medidor 4 baterías de 1.5 V, con 1800 mAh de autonomía y un pequeño panel fotovoltaico para poder recargarlas. Para la adquisición de datos, sería necesaria una conexión vía Bluetooth que envíe todos los datos a una central de la cual se puedan obtener los datos fácilmente vía USB o vía inalámbrica.

En la siguiente imagen se muestran los sensores y elementos de protección que se han especificado anteriormente.

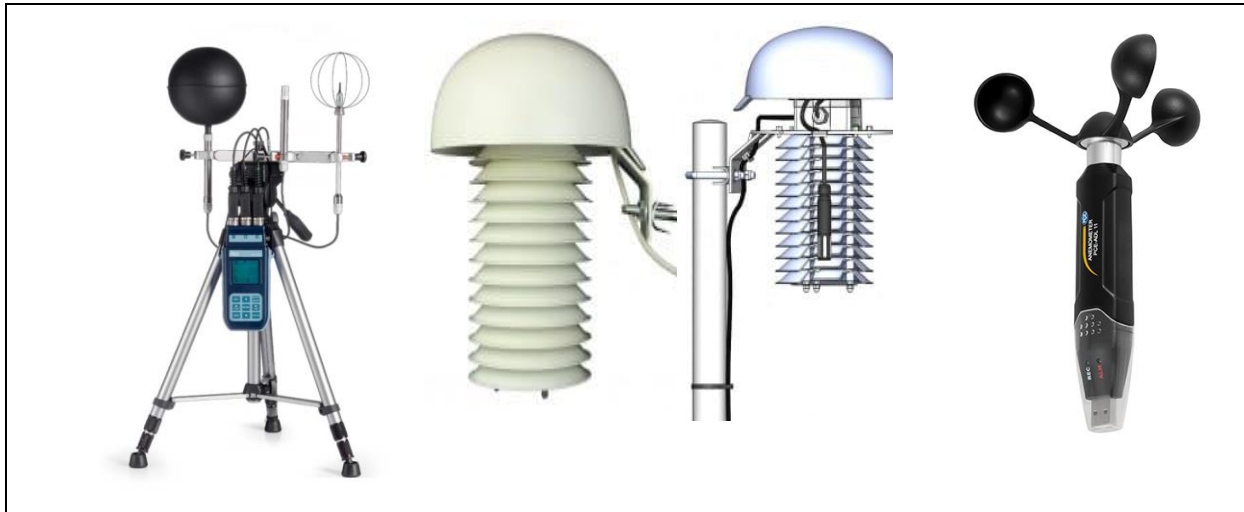


Figura 37 Sensores y elementos de protección de la estación de medida.

### **5.3 Distribución de los medidores.**

Una vez se ha definido los parámetros necesarios a determinar y los dispositivos más apropiados para obtenerlos, el siguiente punto a tratar es la disposición del montaje del sistema de monitorización a lo largo del campo de estudio.

Para estimar las condiciones ambientales en el barrio de Benicalap, es necesario disponer de varios equipos de medida que estudien el microclima alrededor de la zona, y registrar con ellos la evolución de las condiciones ambientales previas durante y posterior al proyecto.

A día de hoy, en el proyecto Grow Green todavía no se han definido las zonas concretas en las que se van a instalar, por lo que en el presente tfg se va proceder a definir varios puntos de interés que definan zonas heterogéneas.

Para ello, *La ciutat fallera*, ha sido el sector seleccionado para efectuar las mediciones, puesto que es donde el proyecto europeo desea ejecutar las medidas de actuación. Dentro de este sector, para poder caracterizar la zona, se distinguen aquellas en las que se encuentran la mayor parte del tiempo al sol y a la sombra, para tener ambos contrastes, además de zonas de paso y zonas concurridas, ya que es donde se muestra el especial interés en mejorar. Uno de los medidores se va a establecer en la parte trasera del parque de Benicalap, el cual se caracteriza por tener un gran espacio verde y que además se desea ampliar.

A modo resumen, en el apartado de planos se puede visualizar aquellas zonas más atractivas para disponer de medidores de confort y estrés térmico.

---

En total se contabilizan 6 medidores, el primer medidor se aconseja situar en un radio de 6 metros próximos al antiguo edificio conocido como “*El Casino del Americano*”, debido a que es una de las zonas más desatendidas del barrio, donde apenas hay vegetación ni sombras. Además de no disponer de permisos por parte del Ayuntamiento para rehabilitar el edificio ni los alrededores por ser considerado como patrimonio cultural.

Se espera, además, que los valores que se midan por esa zona sean más pronunciados que en aquellas zonas que se encuentren más acondicionadas.

El segundo medidor se pretende instalar también en un radio de 6 metros alrededor de la parte posterior al parque de Benicalap, cerca de edificio conocido como “*La Alquería del Moro*”, por ser una de las zonas en las que el proyecto muestra especial interés en renaturalizar.

Los siguientes medidores se van a distribuir alrededor de 5 metros de superficies rodeadas por edificios y caracterizadas por ser zonas de paso y concurridas.

El tercer medidor se instalará en las proximidades de un área residencial que se encuentra rodeada de edificios además de entornos verdes con árboles y áreas con abundante hierba por lo que el área estará dotada de un mayor confort.

Los otros tres medidores están distribuidos alrededor de la Ciutat Fallera, cerca de edificios de elevado tránsito peatonal en los que apenas se dispone de superficies verdes para aclimatar la zona. Por lo que localmente, los medidores registrarán diferencias en el confort con respecto al medidor mencionado anteriormente.

Por otro lado, el proyecto pretende actuar también alrededor de estas zonas mediante la instalación de bosquetes, la plantación de árboles que ayuden a combatir el discomfort térmico.

Una de las principales fuentes que ha ayudado a determinar la ubicación de los sensores, es el mapa de radiación solar incidente disponible para la ciudad de Valencia (Huellasolar OpenPlatform) [34]. Se trata de un mapa que da información del porcentaje anual de sol recibido y solo tiene en cuenta las sombras que generan los edificios.

El mapa del distrito de Benicalap estudiado y la escala de radiación:

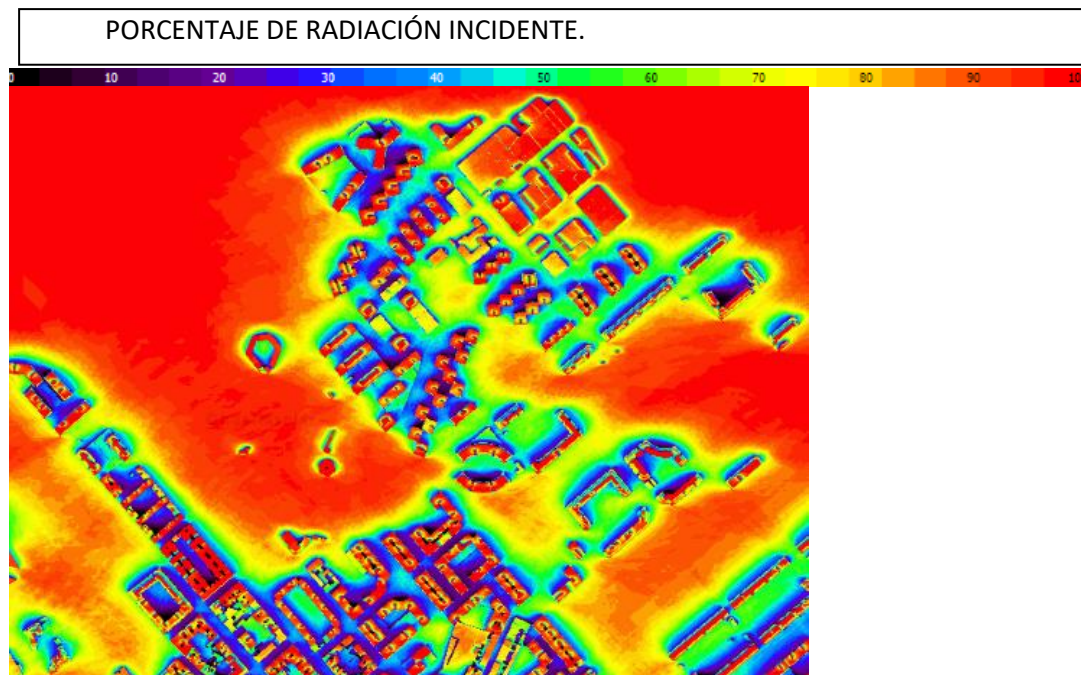


Figura 38 Mapa de huella solar de Benicalap.

Tal y como se ha descrito y se puede visualizar en el documento de planos, las distintas zonas elegidas se caracterizan por tener distintas escalas de radiación, desde zonas sin apenas edificios que bloqueen la radiación hasta puntos en los que los edificios se encuentran perfectamente orientados y distribuidos obstruyendo de manera casi total el paso de la radiación solar.

---

## 6. CONCLUSIONES.

Combatir y prevenir el estrés térmico es uno de los procesos de investigación que se encuentra a la orden del día, tanto para mejorar y aclimatar las condiciones a las que los trabajadores están sometidos, ya sea un ambiente interior o exterior, como también para crear un entorno placentero en la mayor parte de las zonas comunes y de tránsito en las ciudades.

Las conclusiones de trabajo pueden dividirse en dos grupos. El primero, sintetizando el análisis de los valores más significativos obtenidos con los datos meteorológicos y con la simulación del RayMan, y el segundo, intuyendo de cara al futuro, como este proyecto va a contribuir a la mejora de la calidad de vida en el barrio de Benicalap.

### **6.1 Síntesis de los resultados obtenidos.**

Primeramente, tras el análisis de los indicadores que han determinado como han sido las condiciones ambientales tras el transcurso de los cinco años, ha destacado sobre todo la cantidad de horas en las que éstos se alejaban de su límite de confort, en concreto el Heat Index por calor manifestaba que el 10.71% del tiempo, del cual se tiene información, la salud humana se hallaba en riesgo de padecer algún trastorno. Para el caso del Discomfort Index, se ha deducido que el 34.46% del tiempo, el ambiente ya era caluroso y por tanto angustioso y siendo un 35.42% para el WBGT.

Con el estudio realizado se aprecia la necesidad de tomar medidas que reduzcan estos porcentajes y se transformen a horas de confort. Con la simulación del RayMan, se ha corroborado que, dotar diferentes partes de la ciudad con árboles o espacios verdes ayuda a incrementar las horas de confort y por el contrario reducir el estrés térmico fisiológico incluso más de un 80%. En particular, se ha visto una mejora en el incremento de horas de confort en zonas con explanadas de terreno sin edificios o estructuras alrededor, además de darse en los dos estudios realizados una reducción de las horas de sensación de frío.

En el análisis del EIC también se ha podido comprobar la cantidad de noches tropicales en las que la temperatura mínima registrada superaba los 20 °C creando sensación de discomfort. En Viveros se han dado el 24.35 % de las noches estudiadas en los cinco años, en comparación con Aeropuerto que se han anotado 18.43 % por lo que resultaría favorable lograr reducir estos porcentajes sobre todo en Viveros.

Otra de las conclusiones que se ha obtenido tras el análisis de los indicadores ha sido que, el año 2015, se ha considerado como el año con mayor número de horas de discomfort y estrés térmico, destacando sobre todo el 14 de mayo por la gran cantidad de horas expuestas a condiciones de



---

estrés. Tras la actuación con las soluciones propuestas por el proyecto Grow Green, se espera que, en caso de que vuelva a acontecer otro año con características similares o más perjudiciales a éste, el efecto directo sobre la salud humana no sea tan severo, sino que la ciudad esté preparada y reacondicionada para poder hacer frente a las adversidades meteorológicas.

Una vez ha sido estudiado el clima en Valencia en los últimos cinco años, y una vez cumplida la ejecución de unas medidas de actuación que logren reducir de cara al futuro las horas sometidas a condiciones de estrés térmico, lo siguiente es corroborar esta disminución, para ello es necesario distribuir alrededor del barrio, los medidores de los parámetros termohigrométricos necesarios y definidos anteriormente, en lo que se ha llegado al razonamiento que para definir correctamente los indicadores, es necesario disponer de valores de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y la temperatura de globo negro, que para este último lo más adecuado es disponer de una superficie esférica negra, ya que proporciona unos resultados más exactos que mediante cualquier estimación con otros parámetros, además es económicamente más rentable que instalar piranómetros que determinen la cantidad de radiación que incide en cada medidor en concreto.

## **6.2 Rentabilidad del proyecto de cara al futuro.**

El propósito de las estrategias de verdeo que va a llevar a cabo el proyecto Grow Green aspiran a la mejora del clima urbano a través de la selección de especies vegetales y la búsqueda de su ubicación y distribución óptima, puesto que tras el análisis realizado de dos de los días en los que los tres indicadores coincidían con la existencia de horas de estrés térmico, se ha podido alegar, que dependiendo del tipo de viento y su dirección contribuyen a mejor o a peor en el seguimiento por alcanzar el confort.

Como se ha especificado anteriormente, el viento de Poniente, procedente del Oeste, es un viento que fomenta el disconfort en estaciones estivales, por lo que, si se opta por la plantación de una fila de árboles caducifolios en la dirección Oeste respecto a las viviendas, esta táctica actuaría como una barrera cortavientos logrando desviar este viento caluroso en verano, no ocurriendo lo mismo en invierno debido a la despoblación de las copas de los árboles.

Por otro lado, para impedir la insolación directa de los rayos del sol durante el día, la ubicación óptima de dichos árboles caducifolios sería al Sur de los edificios, debido a la trayectoria solar y su inclinación hacia el Sur. Con esta disposición se logrará crear unas cuantiosas sombras en verano cuando esté incidiendo el Sol, consiguiendo adicionalmente reducir el Efecto Isla de Calor puesto que las sombras evitan la absorción directa de la radiación en los edificios.

---

Conforme la cubierta de la copa de los árboles sea mas frondosa, mayores sombras proporcionará, tal es el caso que, con un aumento del 10% de esta, favorece a la reducción de 3 a 5°C la temperatura ambiente y hasta 20 °C la temperatura del asfalto [33].

Otra posible maniobra de actuación con respecto a aquellas viviendas de gran altura en las que no resulta aconsejable el emplazamiento de árboles, puede resultar más adecuado la selección de muros verticales verdes o pérgolas vegetales con plantas trepadoras en forma de enredaderas, con la misma función de taponar los rayos del sol en verano, además de ayudar a refrescar el aire que circunda por la envolvente del edificio a través de la transpiración y así contribuir con la aclimatación de la vivienda.

Además de dar protección a las infraestructuras ya existentes, el proyecto pretende rehabilitar aquellas zonas y edificios más deteriorados de los que se disponga permisos por parte del ayuntamiento, como por ejemplo, actuar sobre los parámetros arquitectónicos como es el revestimiento de las fachadas con materiales o pinturas que no tengan tanta absorbancia como la tiene el cemento (65%), pintura blanca semi-brillante (57%) [29]. Utilizar un aislamiento térmico en paredes interiores, utilizar doble acristalamiento en ventanales con un material aislante, aumentar el albedo de los tejados etc.

La inclusión de superficies verdes en la vida cotidiana, presenta numerosas ventajas en la salud, en la economía y en el medioambiente, para la realización de este trabajo de fin de grado, el foco principal en el que se ha sustentado ha sido la mejora en la salud y en la calidad de vida humana, no obstante, no está de más mencionar como el Proyecto Grow Green va a beneficiar las otras dos vertientes.

En lo económico, promueve la eficiencia energética a través del ahorro de energía, ya que, si bien se reducen los efectos del viento de Poniente, crean sombras durante el día que estabilizan las temperaturas logrando enfriar el aire de alrededor, (en forma de ventilación natural), y reducen la absorción de radiación de los edificios contribuyendo a la moderación del EIC, esto genera que haya una menor dependencia del aire acondicionado y de los ventiladores, o simplemente, puede colaborar con esta eficiencia proporcionando sombras cerca de los aparatos que expulsan el calor absorbido a la atmósfera contribuyendo así con su rendimiento.

En lo medioambiental, se dice que los árboles son los “pulmones urbanos” a través de la fotosíntesis desprenden oxígeno a la atmósfera y absorben el CO<sub>2</sub>, participando así con la lucha contra el cambio climático, aromatizan el aire y filtran partículas en suspensión, micropartículas como el polvo, hollín disminuyendo así la contaminación. Ayudan a mantener el ecosistema puesto que son el hábitat de muchas especies, reducen la contaminación sonora puesto que hacen de barrera para la propagación de las ondas sonoras, entre muchas otras características.

Por último, cerrar este capítulo mediante una reflexión que ayude a crear una conciencia medioambiental, ser consciente del deber que tenemos como ciudadanos en lograr un enriquecimiento en el medioambiente, la voluntad de conservarlo, la búsqueda y participación en proyectos que busquen la mejora del presente y la prosperidad del futuro.



---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ergonomía 2 Confort y estrés térmico (1995) Pedro R. Mondelo, Enrique Gregori, Santiago Comas, Emilio Castejón. ISBN: 84-89636-97-4
- [2] 2018012 Grow GreenGreen Cities for Climate and Water Resilience, Sustainable Economic Growth, Healthy Citizens and Environments H2020-SCC-2016-2017Proposal number: 730283-1.
- [3] Determinación del índice de estrés térmico WBGT. Proyecto del Máster en meteorología, Universidad de Barcelona. Ricardo Kirchnner Amor. <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/33365/1/WBGT%20Indice%20de%20estr%C3%A9s%20t%C3%A9rmico.pdf> (accedido en Junio 2018).
- [4] NTP 74: Confort térmico- Método de Fanger para su evaluación. Emilio Castejón Vilella. Centro de Investigación y asistencia técnica- Barcelona. [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp\\_074.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_074.pdf) (accedido en Junio 2018).
- [5] NTP 322: Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT. Pablo Luna Mendoza. Centro Nacional de Condiciones de trabajo.
- [6] Evaluación del confort térmico urbano por medio de la temperatura fisiológica equivalente. S.E. Puliafito, G. P. Ortiz, C.M. Puliafito. Universidad de Mendoza. [https://www.researchgate.net/publication/267201999\\_EVALUACION\\_DEL\\_CONFORT\\_TERMICO\\_URBANO\\_POR\\_MEDIO\\_DE\\_LA\\_TEMPERATURA\\_FISIOLOGICA\\_EQUIVALENTE\\_PET\\_EN\\_LA\\_CIUDAD\\_DE\\_MENDOZA](https://www.researchgate.net/publication/267201999_EVALUACION_DEL_CONFORT_TERMICO_URBANO_POR_MEDIO_DE_LA_TEMPERATURA_FISIOLOGICA_EQUIVALENTE_PET_EN_LA_CIUDAD_DE_MENDOZA) (accedido Junio 2018).
- [7] Green cities for climate and water resilience, sustainable economic growth, healthy citizens and environments. Chantal Van Ham.
- [8] Heat Stress Standard Iso 7243 and its Global Application. Loughborough University. February 14, 2006. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.410.9682&rep=rep1&type=pdf> (accedido en Junio 2018).
- [9] Comparison of UTCI to selected thermal indices. 26 May 2011. Krzysztof Blazejczyk.
- [10] Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas. (ISO 7726:1998).
- [11] The Urban Heat Island Effect in the City of Valencia: A Case Study for Hot Summer Days. 16 February 2017. Annamária Lehoczky, José A. Sobrino, Drazen Skokovic and Enric Aguilar.
- [12] Calor y Trabajo, prevención de riesgos laborales debidos al estrés térmico por calor. Pilar Armendáriz de Ciriza. Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/AF2BD786-0A6D-4564-9076-BE42220B4843/225685/calorytrabajoprofesional.pdf> (accedido en Junio de 2018).
- [13] Buenas prácticas para la prevención de los riesgos laborales de los trabajadores expuestos a condiciones climatológicas adversas. Fundación para la prevención de riesgos laborales. <https://www.diba.cat/documents/467843/118493136/ARCH5810aeac982df.pdf/508cf2e5-2d63-4ba9-85ae-b96b5b65cfe> (accedido en Junio de 2018).
- [14] Estándar local del confort térmico para la ciudad de Colima. 15 de Agosto de 2007. Raúl Pável Ruiz Torres. [http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/RUIZ\\_TORRES\\_RAUL\\_PAVEL.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/RUIZ_TORRES_RAUL_PAVEL.pdf) (accedido en Junio de 2018).
- [15] Análisis de las características de diseño y ambientales de la biblioteca de Ingeniería Industrial (UPV) y su influencia en la percepción de confort. Toni García Fuster. <https://riunet.upv.es/handle/10251/12240> (accedido en Junio de 2018).
- [16] Análisis y determinación del área de confort térmico. Bruno Henríquez Pérez. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo07.htm> (accedido en Junio de 2018).
- [17] Artículo ABC: ¿Cómo se mide la sensación térmica? 14 de Enero de 2015. Enrique Hernanz. <http://www.abc.es/sociedad/20150114/abci-sensacion-termica-201501131745.html> (accedido en Junio de 2018).
- [18] Índice WBGT para evaluar el estrés térmico. Sergio Bronstein. [http://www.academia.edu/5130934/%C3%8Dndice\\_WBGT\\_para\\_evaluar\\_el\\_estr%C3%A9s\\_t%C3%A9rmico](http://www.academia.edu/5130934/%C3%8Dndice_WBGT_para_evaluar_el_estr%C3%A9s_t%C3%A9rmico) (accedido en Junio de 2018).
- [19] Humedad y Temperatura en los edificios. Condensaciones y Confort térmico de Verano y de Invierno. (1976). Maurice Croiset. ISBN: 84-7146-029-7.
- [20] Wind chill equivalent temperature. Climatology and scenarios for Schiphol Airport. 9<sup>th</sup> October 2009. Geert Groen. <http://projects.knmi.nl/kbs/doc/WCET-Schiphol.pdf> (accedido en Junio de 2018).
- [21] Modelos de cálculo de los rangos del confort térmico. Verificación de su aplicabilidad y la incidencia de las variables determinantes. N.A. Mesa, M. Arboit, C. de Rosa. (2009). <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2009/2009-t005-a009.pdf> (accedido en Junio de 2018).
- [22] Modelo propuesto de Zona Variable de Confort Térmico. Capítulo 5. FJ Chávez del Valle. ISBN: 84-6998-777-1.
- [23] Artículo el Periódico. Árboles y jardines disminuyen la isla de calor de las ciudades. Antonio Madrideo. 26 de Octubre de 2015. <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20151025/arboles-y-jardines-disminuyen-la-isla-de-calor-de-las-ciudades-4617155> (accedido en Junio de 2018).

- 
- [24] METEOROLOGÍAENRED. ¿Qué es y cómo se calcula la sensación térmica? German Portillo. 4 de Enero de 2017. <https://www.meteorologiaenred.com/se-calcula-la-sensacion-termica.html> (accedido en Junio de 2018).
- [25] Revista Cubana de Meteorología. Linear formula for determining the temperature of the wet bulb. Mario Carnesoltas-Calvo. (2017). [file:///C:/Users/Valeria/Downloads/234-503-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Valeria/Downloads/234-503-1-PB%20(1).pdf) (accedido en Junio de 2018).
- [26] El Ambiente térmico de Trabajo: Evaluación y Prevención. Agosto 2004. Profesor J.Malchaire. <http://www.deparisnet.be/chaleur/SOBANEsp/Malchaire%20CURSO%20calor.pdf> (accedido en Junio de 2018).
- [27] NATURA MEDIO AMBIENTAL. Los beneficios más importantes de los árboles. Marcelo Moscoso P. (2007). <https://www.natura-medioambiental.com/los-beneficios-de-los-arboles-una-mirada-los-mismos/> (accedido en Junio de 2018).
- [28] Las Naves, Ajuntament de València. Proyecto de Innovación Social, GROW GREEN. <https://www.lasnaves.com/energia/primeros-pasos-del-proyecto-grow-green-para-un-benicalap-verde-y-sostenible/?lang=es> (accedido en Junio de 2018)
- [29] Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico. María Eugenia Sosa Griffin, Geovanni Siem. [https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/pdf/manual\\_energia.pdf](https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/pdf/manual_energia.pdf) (accedido en Junio de 2018).
- [30] LaVanguardia. Cómo las plantas pueden reducir el consumo de energía en las ciudades. Silvia Burés. 08/06/2014. <http://blogs.lavanguardia.com/plantas/como-las-plantas-pueden-reducir-el-consumo-de-energia-en-las-ciudades-79146> (accedido en Junio de 2018).
- [31] Ecología verde. La importancia de los árboles para el medio ambiente. Ana Isan. <https://www.ecologiaverde.com/la-importancia-de-los-arboles-para-el-medio-ambiente-509.html> (accedido en Junio de 2018).
- [32] Modelling of Mean Radiant Temperature and Thermal indices. Rayman Manual, April 28, 2017. Andreas Matzarakis. <http://www.urbanclimate.net/rayman/RayManManual.pdf> (accedido en Junio de 2018).
- [33] ReforestaCoruña. Beneficios de los árboles en la ciudad, 4 de Septiembre de 2013. <https://reforestacoruna.wordpress.com/2013/09/04/beneficios-de-los-arboles-en-la-ciudad-i-medioambientales/> (accedido en Junio de 2018).
- [34] Mapa de huella solar. <http://www.huellasolar.com/> (accedido en Junio de 2018).

---

# **PRESUPUESTO**



En este documento se aborda el estudio económico que ha sido necesario para la realización y ejecución del presente trabajo. Como se puede visualizar el presupuesto se encuentra dividido en dos partidas.

<b>Partida 1: Coste de la obtención de los datos.</b>					
Código		Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Importe (€)
1.1	Uds	Valores horarios de variables climatológicas.	480	2.81	1348.8
1.2	Uds	Datos de radiación global, directa o difusa.	5475	0.48	2628
1.3	Uds	Gestión de peticiones de suministro único.	1	14	14
1.4	h	Visitas a la zona de estudio por parte del ingeniero.	24	30	720
1.5	Uds	Medidor Kestrel de estrés térmico.	1	508.03	508.03
<b>TOTAL</b>					<b>5218.9</b>

La primera de ellas recoge los costes asociados a la obtención de las variables meteorológicas de los últimos cinco años de las estaciones de Valencia-Aeropuerto y Viveros, que han sido necesarias para caracterizar el estrés térmico en la ciudad de Valencia.

Además, como siguiente recurso, se incluye todo el trabajo de visitas a la zona de estudio, que han sido realizadas por el ingeniero, así como las mediciones en varios puntos del barrio de Benicalap mediante un medidor comercial que permitiese caracterizar, de manera simplificada, aquellas zonas de interés en aplicar las medidas de actuación del proyecto y la disposición de las redes de medida estacionarias.

<b>Partida 2: Coste del procesado y análisis de los datos.</b>					
Código		Descripción	Unidades	Precio unitario (€)	Importe (€)
2.1	año	Microsoft Office 365.	0.10275	70	7.2
2.2	año	Software MATLAB, versión R2016b.	0.10275	800	82.2
2.3	año	Software AutoCAD 2018.	0.10275	471.90	48.5
2.4	año	Software RayMan 2017.	0.10275	0	0
<b>TOTAL</b>					<b>137.9</b>



La segunda partida está compuesta por la amortización de los paquetes informáticos necesarios para poder procesar e interpretar la información, y la posterior realización de los documentos necesarios para el proyecto.

Considerando que las horas de trabajo han sido alrededor de 300 y las licencias obtenidas de cada software son de 1 año, el periodo de amortización se ha obtenido de la siguiente forma:

$$\text{Días trabajados con los programas informáticos} = \frac{300 \text{ h}}{8 \text{ h/día}} = 37.5 \text{ días}$$

$$\text{Equivalencia en años} = \frac{37.5 \text{ días}}{365 \text{ días/año}} = 0.1027 \text{ años}$$

<b>Presupuesto General.</b>	
Descripción	Importe
Partida 1	5218.9 €
Partida 2	137.9 €
Subtotal 1	5356.73 €
Costes indirectos (4%)	214.26 €
Beneficio industrial (10%)	535.66 €
Subtotal 2	6106.65 €
Impuesto IVA (21%)	1282.4 €
Total a pagar:	7388.1 €

Por tanto, el presupuesto global del proyecto es de **SIETE MIL TRESCIENTOS OCHENTA Y OCHO EUROS CON DIEZ CÉNTIMOS.**

---

# ANEXOS



---

ANEXO 1: Medidor Kestrel con el que se realizaron las medidas en diferentes puntos de Benicalap.



ANEXO 2.1: Edificio el Casino del Americano y sus alrededores.



---

ANEXO 2.2: Explanada de terreno posterior al parque de Benicalap.



ANEXO 2.3: Conjunto de edificios con bosquete donde se va a instalar el medidor 3.



ANEXO 3: Especificaciones técnicas de los sensores.



### Especificaciones técnicas

#### Condiciones de trabajo

- Temperatura de trabajo	-5 ... +50 °C
- Temperatura de almacenamiento	-25 ... +65 °C
- Humedad en el trabajo	0 ... 90 % H.r., sin condensación

Tipo de protección IP67

Incertidumbre del medidor ±1 dígito @ 20 °C

#### Alimentación

- Adaptador de red	12Vdc/1A (cód. SWD10)
- Batería	4 baterías 1,5 V tipo AA

Autonomía 200 horas con baterías alcalinas de 1800 mAh

Consumo de corriente cuando el medidor está apagado < 45µA

Carcasa ABS, goma

Pantalla Retroiluminado, de matriz con puntos  
160x160 puntos, área visible 52x42 mm

Dimensiones 185 x 90 x 40 mm

Peso 470 g (baterías incluidas)

#### Conexiones

Entrada para sondas con módulo conectores 8 polos macho DIN 45326 SICRAM

Interfaz serial

Enchufe M12-8 polos

Tipo RS232C (EIA/TIA574) o USB 1.1 - 2.0 no aisladas

Baud rate De 1200 a 38400 baud

Con USB baud=460800

Bit de datos 8

Paridad Ninguna

Bit de arrastre 1

Control del flujo Xon-Xoff

Longitud del cable Máx. 15 m

Memoria Dividida en 64 bloques

Rangos de medida	1,2 ... 30,0 m/s 4,3 ... 108,0 km/h 2,33 ... 58,32 nudos 2,69 ... 67,2 millas/h 236 ... 5906 ft/min
Resolución	0,01 m/s 0,1 km/h 0,1 nudos 0,1 mph 1 ft/min
Precisión	m/s: ± (3 % + 0,20 m/s) km/h: ± (3 % + 1,0 km/h) Nudos: ± (3 % + 0,4 nudos) Millas/h: ± (3 % + 0,4 millas/h) ft/min: ± (3 % + 40 ft/m)
Memoria	Hasta 60.000 valores
Interfaz	USB para la transmisión de datos
Software	Para el análisis de datos con presentación gráfica
Cuota de registro seleccionable	3 s, 5 s, 10 s, 30 s, 1 min., 5 min., 10 min., 30 min., 1 h, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h
Estado operativo	Indicación mediante LED rojo, amarillo, verde
Alarma al sobrepasar valor límite	Sí
Modos de medición	Inicio de medición automático y manual
Sensor	Hélice
Alimentación	Pila de litio de 3,6 V
Alarma en caso de baja batería	Sí
Condiciones ambientales	0 ... +50 °C, <80 % H.r.
Altitud máxima sobre nivel del mar	2000 m
Peso	49 g
Dimensiones	145 x 35 x 30 mm



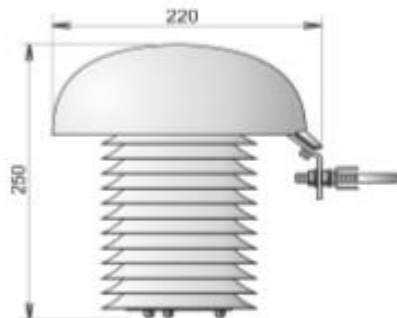
## F8200 Fan Aspirated Meteo Shield for Weather Sensors

www.cometsystem.com

### PRODUCT DESCRIPTION

The fan aspirated shield F8200 is used to protect the COMET air temperature, relative humidity and pressure sensors from thermal radiation and climatic influences. The optimized design of the shield and active ventilation by the built-in fan significantly reduces the measurement error caused by thermal radiation. Mounting flange under the top cover allows easy mounting of the devices including the fixing of the cables.

### DIMENSIONS



### RADIATION SHIELD MOUNTING

The radiation shield is placed on a mast with a diameter from 20 mm to 45 mm (i.e. satellite holder). The radiation shield is advisable to place at least 50 cm from the nearest wall of the building and at least 1.8 meters above the ground. For professional measurements, it is recommended to place the shield in grassy places, which in a radius of 10 m has no obstacles (lawn should be continuously maintained).

ie-snc-F8200-01

### TECHNICAL SPECIFICATION

Supply voltage:	12 Vdc
Power consumption of fan:	0.6 W
Pulse output:	2 pulse / rev. *)
Temperature operating range:	-30 to +80 °C
Relative humidity operating range:	0 to 100 %RH
Storage temperature range:	-30 to +80 °C
Storage relative humidity range:	0 to 100 %RH (no condensation)
Weight:	approximately 1000 g
Material:	ASA - UV stabilized, antistatic

\*) max. current of output is < 5 mA, the pulse output is not protected against short circuits

### CONTENT OF THE PACKAGE:

• the F8200 shield	1 pc
• the U-bolt bracket	1 pc
• the screw M4x8	2 pcs
• the screw M3 x 14	2 pcs
• the cable tie	3 pcs
• the nut M8 with washer	2 pcs

### END OF OPERATION

The radiation shield should be disposed according to current legislation for dealing with electronic equipment.

---

## ANEXO 4: Código fuente usado en Matlab.

```
[data,text]=xlsread('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\Viento.xlsx');
[data1,text1]=xlsread('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\Viento.xlsx');
[data2,text2]=xlsread('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\Temperatura.xlsx');
[data3,text3]=xlsread('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\Humedad.xlsx');
[data4,text4]=xlsread('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\Precipitacion.xlsx');
[data5,text5]=xlsread('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\Radiacion.xlsx');

radiacion=[];
direccion=[];
viento=[];
data2=data2(1:1827,9:32);
data3=data3(1:1827,9:32);
data4=data4(:,11:34);
data5=data5(:,41:56);
temperatura=[];
humedad=[];
precipitacion=[];
hora=[];
h=[];
for i=0.0:23.00
    h=[h;i];
end
for i=1:1827
    v=[data(i,10); data(i,12); data(i,14); data(i,16); data(i,18);
data(i,20); data(i,22); data(i,24); data(i,26); data(i,28); data(i,30);
data(i,32); data(i,34); data(i,36); data(i,38); data(i,40); data(i,42);
data(i,44); data(i,46); data(i,48); data(i,50); data(i,52); data(i,54);
data(i,56)];
    d=[data1(i,9); data1(i,11); data1(i,13); data1(i,15); data1(i,17);
data1(i,19); data1(i,21); data1(i,23); data1(i,25); data1(i,27);
data1(i,29); data1(i,31); data1(i,33); data1(i,35); data1(i,37);
data1(i,39); data1(i,41); data1(i,43); data1(i,45); data1(i,47);
data1(i,49); data1(i,51); data1(i,53); data1(i,55)];

    if i==1 viento=[viento;v]; direccion=[direccion;d]; hora=[hora;h];
end
    %if i==1828 viento=[viento;NaN;NaN;NaN;v];
direccion=[direccion;NaN;NaN;NaN;d]; hora=[hora;NaN;NaN;NaN;h]; end
    if i~=1 viento=[viento;NaN;v]; direccion=[direccion;NaN;d];
hora=[hora;NaN;h]; end

end
xlswrite('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\datos.matlab.xlsx',viento,'Hoja1','F3');
xlswrite('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\datos.matlab.xlsx',direccion,'Hoja1','G3');
xlswrite('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\datos.matlab.xlsx',hora,'Hoja1','B3');

for i=1:length(data5)
    radiacion=[radiacion data5(i,:)];
    radiacion=[radiacion NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN];
```



```
end
```

```
xlswrite('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\datos.matlab.xlsx',radiacion',  
'Hojal','E8');
```

```
for i=1:1827
```

```
    t=[data2(i,:)];
```

```
    h=[data3(i,:)];
```

```
    p=[data4(i,:)];
```

```
    if i==1 temperatura=[temperatura;t]; humedad=[humedad;h];
```

```
    precipitacion=[precipitacion;p]; end
```

```
    %if i==1828 temperatura=[temperatura;NaN;NaN;NaN;t];
```

```
    humedad=[humedad;NaN;NaN;NaN;h];
```

```
    precipitacion=[precipitacion;NaN;NaN;NaN;p]; end
```

```
    if i~=1 && i~=1828 temperatura=[temperatura;NaN;t];
```

```
    humedad=[humedad;NaN;h]; precipitacion=[precipitacion;NaN;p]; end
```

```
end
```

```
xlswrite('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\datos.matlab.xlsx',temperatur  
a,'Hojal','C3');
```

```
xlswrite('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\datos.matlab.xlsx',humedad,'H  
ojal','D3');
```

```
xlswrite('C:\Users\Valeria\Documents\GITI\TFG\datos.matlab.xlsx',precipitac  
ion,'Hojal','H3');
```

## ANEXO 5: Ejemplo del formato de obtención de valores mediante el Rayman.

date	VP	day of	time	sunr,	sunset	SDmax	SDact	SVF_Ray	Gmax	Gact	Sact	Dact	A	E	Ts
PT	mPET	RH	v	C	Tmrt	height	weight	age	sex	cloth,	activ,	PMV	PET	SET*	UTCI
d,m,yyyy	hPa	%	h:mm	h:mm	h:mm	min	min		W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	°C
°C	°C		m/s	octas	°C	m	kg	a		clo	W		°C	°C	°C
1,5,2015		121	0:00	6:24	20:05	822	623	0,583	0,0	0,0	0,0	0,0	220,3	370,6	12,0
14,2	0,0	0,0	1,7	0,0	2,7	1,8	75,0	35	m	0,90	80,0	-2,8	6,9	6,6	5,7
6,4	7,9														
1,5,2015		121	1:00	6:24	20:05	822	623	0,583	0,0	0,0	0,0	0,0	309,8	374,6	12,3
13,7	13,6	87,0	0,6	0,0	8,5	1,8	75,0	35	m	0,90	80,0	-2,0	9,7	12,2	12,9
9,6	12,3														
1,5,2015		121	2:00	6:24	20:05	822	623	0,583	0,0	0,0	0,0	0,0	307,7	373,8	12,2
13,3	13,3	87,0	1,1	0,0	8,2	1,8	75,0	35	m	0,90	80,0	-2,3	8,4	10,0	11,0
8,6	11,1														
1,5,2015		121	3:00	6:24	20:05	822	623	0,583	0,0	0,0	0,0	0,0	304,5	368,7	11,2
12,6	13,1	90,0	0,5	0,0	7,4	1,8	75,0	35	m	0,90	80,0	-2,1	8,6	11,4	12,0
8,7	11,5														
1,5,2015		121	4:00	6:24	20:05	822	623	0,583	0,0	0,0	0,0	0,0	302,8	368,6	11,2
12,3	12,7	89,0	1,1	0,0	7,2	1,8	75,0	35	m	0,90	80,0	-2,5	7,3	8,9	9,9
7,7	10,2														
1,5,2015		121	5:00	6:24	20:05	822	623	0,583	0,0	0,0	0,0	0,0	301,9	366,1	10,7

ANEXO 6: Metodología del cálculo y caracterización de los indicadores de estrés térmico en los cinco años.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
7	fecha	hora	Temper	Humedad	Radiació	Radiació	Vel. Vient	Dir. Vient	Precipit	H	H calor	Temper	Vp(Z)	Humid	T.electr	DI	WindCh	tw temp	WBGT mal	estrés oc	Tg	WBGT bien	estrés cor
8	1-1-12 0:00	0	91	73		0	6	27	0	73	37,95091	4,3163	6,562722	7,190532	3,07	9,9019	10,35276	7,471	11,6788496	FALSO	6,572	7,454	FALSO
9	1-1-12 1:00	1	92	70		0	4	28	0	70	38,43863	3,778431	6,563633	7,291038	4,87	10,0745	10,98432	7,347	11,73530788	FALSO	7,238	7,510	FALSO
10	1-1-12 2:00	2	95	67		0	6	25	0	67	38,22182	3,412168	6,564255	7,591443	3,68	10,4075	10,77347	7,397	11,90625204	FALSO	6,972	7,522	FALSO
11	1-1-12 3:00	3	85	70		0	10	28	0	70	40,43374	3,078431	6,564824	6,59176	0,25	9,4900	8,982379	6,693	11,33947585	FALSO	5,074	6,550	FALSO
12	1-1-12 4:00	4	75	74		0	0	0	0	74	42,52192	2,92311	6,565089	5,591907	10,66	8,5010	17,78125	6,030	10,77258007	FALSO	8,057	6,582	FALSO
13	1-1-12 5:00	5	80	73	0	0	15	28	0	73	41,2125	3,2163	6,564589	6,091629	- 2,35	8,9653	7,79125	6,434	10,5588345	FALSO	3,678	6,040	FALSO
14	1-1-12 6:00	6	76	73	0	0	11	28	0	73	42,47656	2,8163	6,565272	5,692008	- 1,39	8,6247	7,851533	6,057	10,82935181	FALSO	3,979	5,796	FALSO
15	1-1-12 7:00	7	71	74	0	0	6	27	0	74	43,84396	2,52311	6,565774	5,192287	0,81	8,1582	8,249226	5,652	10,54604902	FALSO	4,572	5,581	FALSO
16	1-1-12 8:00	8	99	63	10	27,78	3	26	0	63	37,73645	2,876919	6,565168	7,991951	6,71	10,8361	12,04223	7,440	12,13341109	FALSO	8,276	7,853	FALSO
17	1-1-12 9:00	9	128	54	56	155,56	0	0	0	54	32,15034	3,433782	6,564219	10,89142	14,65	13,2301	21,0752	9,190	13,77737888	FALSO	13,361	10,386	FALSO
18	1-1-12 10:00	10	178	41	107	297,22	0	0	0	41	26,16394	4,247435	6,562838	15,89066	17,83	16,7232	24,1827	11,757	16,6179537	FALSO	18,385	13,683	FALSO
19	1-1-12 11:00	11	195	37	144	400,00	7	27	0	37	25,1946	4,38706	6,562602	17,59053	13,42	17,7675	21,19256	12,451	17,5756026	FALSO	16,735	14,012	FALSO
20	1-1-12 12:00	12	224	30	164	455,56	2	23	0	30	24,61942	4,099244	6,563089	20,4908	18,05	19,3585	24,77656	13,221	19,22009393	FALSO	25,952	16,685	FALSO
21	1-1-12 13:00	13	237	28	163	452,78	0	0	0	28	24,81856	4,350531	6,562684	21,79056	21,05	#####	27,84955	13,691	19,95702686	FALSO	30,106	17,975	FALSO
22	1-1-12 14:00	14	232	30	134	372,22	5	18	0	30	24,778	4,893244	6,561738	21,29005	17,28	19,8505	25,25043	13,844	19,67316314	FALSO	20,951	16,201	FALSO
23	1-1-12 15:00	15	208	37	101	280,56	15	11	0	37	24,93789	5,68706	6,560416	18,88931	12,93	18,6171	22,12337	13,513	18,31184351	FALSO	16,486	14,836	FALSO
24	1-1-12 16:00	16	176	54	52	144,44	15	11	0	54	26,27346	8,233782	6,556194	15,68697	9,64	16,8157	18,54031	13,446	16,49578436	FALSO	13,282	13,829	FALSO
25	1-1-12 17:00	17	152	63	9	25,00	9	9	0	63	27,7569	8,176919	6,556288	13,28702	8,52	15,0576	16,37992	12,289	15,13502106	FALSO	11,979	12,518	FALSO
26	1-1-12 18:00	18	132	73	0	0,00	7	32	0	73	28,56897	8,4163	6,555895	11,2868	7,08	13,9931	14,49873	11,333	14,00086664	FALSO	10,424	11,338	FALSO
27	1-1-12 19:00	19	112	81	0	0,00	8	30	0	81	29,65539	7,996976	6,556584	9,287182	4,08	11,5449	12,20728	10,028	12,86713732	FALSO	8,194	9,778	FALSO
28	1-1-12 20:00	20	98	84	0	0,00	8	29	0	84	31,66685	7,44975	6,557982	7,887959	2,31	10,2136	10,70643	8,875	12,07368876	FALSO	6,794	8,551	FALSO
29	1-1-12 21:00	21	91	85	0,00	0,00	3	30	0	85	33,06839	6,629662	6,558844	7,188438	5,48	9,5455	11,23695	8,259	11,67732577	FALSO	7,475	8,186	FALSO
30	1-1-12 22:00	22	83	85	0,00	0,00	5	31	0	85	35,43866	5,829662	6,560178	6,389179	2,58	8,8115	9,763402	7,482	11,22424978	FALSO	6,040	7,276	FALSO
31	1-1-12 23:00	23	123	58	0,00	0,00	23	26	0	58	32,91892	4,01998	6,563223	10,39087	1,86	12,8082	12,02837	9,159	13,49344669	FALSO	6,816	9,005	FALSO
32	2-1-12 0:00	0	130	55	0,00	0,00	8	31	0	55	31,80103	3,912694	6,563405	11,09097	6,56	13,3713	14,13694	9,476	13,89041816	FALSO	9,994	9,932	FALSO
33	2-1-12 1:00	1	137	53	0,00	0,00	23	27	0	53	30,72314	4,049655	6,563173	11,79084	3,70	13,3068	13,64533	9,876	14,28722694	FALSO	8,216	9,926	FALSO
34	2-1-12 2:00	2	128	57	0,00	0,00	18	25	0	57	32,06954	4,25562	6,562824	10,89065	3,37	13,2021	12,93159	9,507	13,71678993	FALSO	8,013	9,538	FALSO
35	2-1-12 3:00	3	128	56	0,00	0,00	9	22	0	56	32,11192	3,986581	6,563328	10,8909	5,92	13,2114	13,78846	9,403	13,71696894	FALSO	9,578	9,778	FALSO
36	2-1-12 4:00	4	141	52	0,00	0,00	17	27	0	52	30,14722	4,160117	6,562986	12,19074	5,19	14,2056	14,47444	10,113	14,51935343	FALSO	9,463	10,382	FALSO

ANEXO 7: Ecuación de Fanger del PMV.

$$PMV = [0.303 \cdot e^{-0.036M} + 0.028] \cdot \{(M - V) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - V) - p_a] - 0.42[(M - V) - 58.15] - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}$$

En la que:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 \cdot (M - V) - l_{cl} \{3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} [((t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4)] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\}$$

$$h_{cl} = \begin{cases} 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{si } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \sqrt{v_{ar}} \\ 12.1 \sqrt{v_{ar}} & \text{si } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

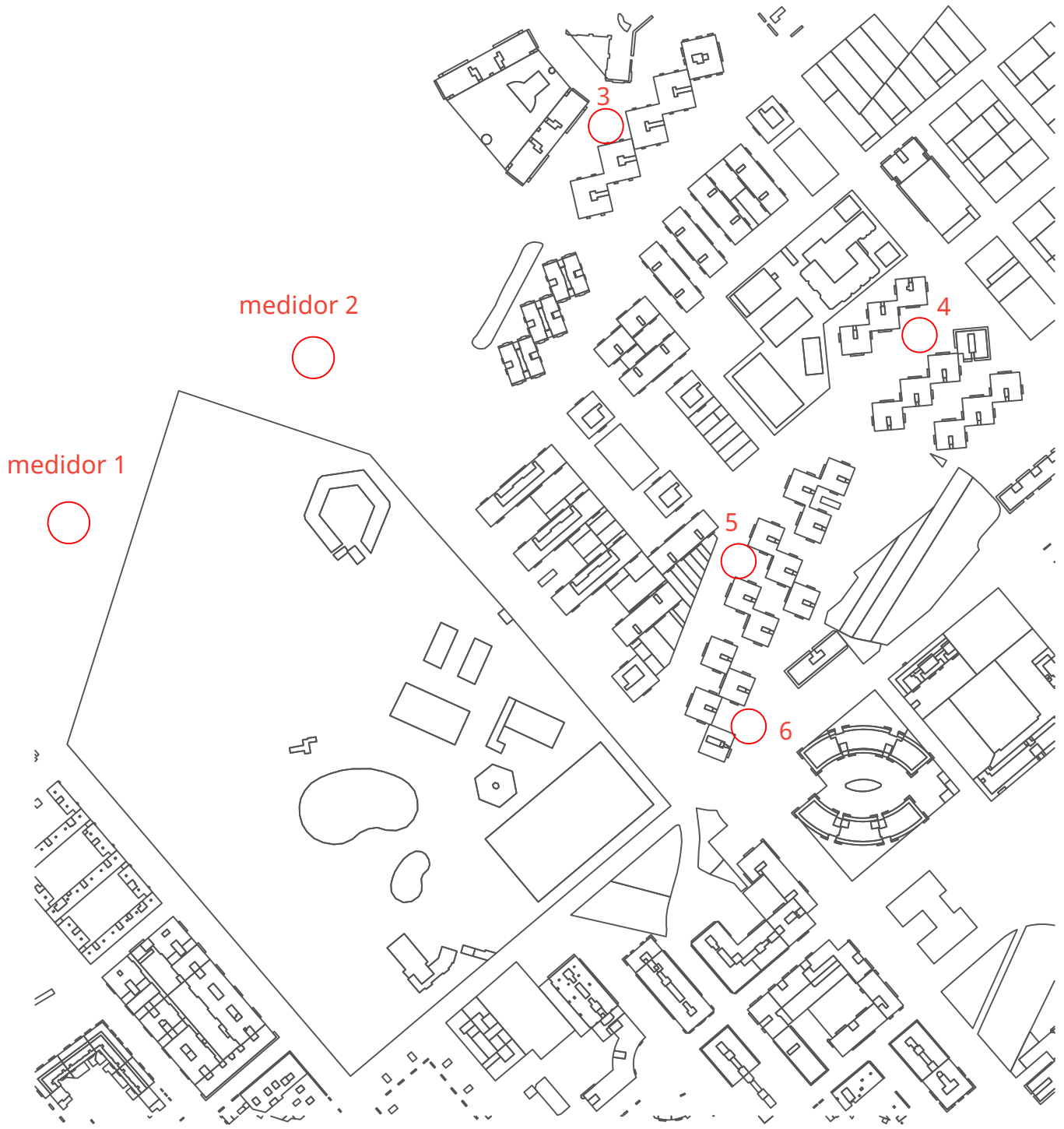
$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 \cdot l_{cl} & \text{si } l_{cl} \leq 0.078 \frac{m^2}{w} \\ 1.05 + 0.645 \cdot l_{cl} & \text{si } l_{cl} > 0.078 \frac{m^2}{w} \end{cases}$$




---

# PLANOS





1:4000	Andrea Valeria López Contreras	Proyecto Grow-Green
15/05/2018	Disposición de medidores en el barrio de Benicalap	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA