

Factores de confort humano y consumo energético en los edificios Impacto de la evolución del clima y métodos de adaptación

Dr. Roberto Garay-Martinez

DeustoTech - Facultad de Ingeniería

roberto.garay@deusto.es

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Resumen

- Los seres humanos somos sensibles a las condiciones ambientales
- El estado de confort es probabilístico y depende del contexto
- El cambio climático modifica el contexto, fundamentalmente, con mayor severidad climática de verano
 - Mayor disconfort
 - Mayores costes energéticos

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Roberto Garay Martinez



- Ingeniero Industrial (UPV-EHU, 2008), Doctor en Ingeniería (UdL, 2017).
- Investigador en energía en edificación desde 2008. Actualmente en el [Grupo Deusto Sustainable Research Group](#). Anteriormente (2008-2022), Líder de Tecnología en [Física del Edificio](#) en [tecnalia](#).
- He participado en la conceptualización, análisis y desarrollo de sistemas energéticos y de aislamiento térmico en la edificación. He desarrollado gran parte de mi actividad en el ámbito experimental en la infraestructura [KUBIK](#) by Tecnia.
- Interesado en el análisis energéticos basados en datos.
- Los edificios consumen energía al acondicionarse para su uso. Entender cuando y cómo estamos confortables es el primer paso para poder mejorar el desempeño energético de los edificios.

robertogaray.com/
linkedin.com/in/robertogaray
orcid.org/0000-0003-2331-6561

Deusto Sustainable Research Group

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano, entorno edificado, impacto en los edificios y el confort de la evolución del clima; y métodos de adaptación

- Uso de recursos y circularidad
 - **Energía**
 - Recursos naturales
- Modelado energético
 - **Edificios**
 - Redes
 - Activos
 - Comportamientos ciudadanos
- Procesos
 - Residuos industriales
 - Agricultura
 - Cadenas de suministro
- Digitalización
 - IoT
 - Blockchain



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Índice

1. Introducción
 - Ponente y Grupo de Investigación
2. Confort humano
 - Factores
 - Modelos
 - Sensibilidad
 - Herramientas
3. Confort humano en la interacción con los edificios
 - Cambio climático
 - Energética de edificios
 - Sobrecalentamiento
 - Acristalamientos
 - Mitigación

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Factores de Confort

- Comfort: “*Condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico*” (ASHRAE Standard 55)
- En general, cuando: (ASHRAE Fundamentals)
 - la temperatura corporal se mantiene dentro de rangos estrechos
 - la humedad de la piel es baja
 - se minimiza el esfuerzo fisiológico de regulación

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Factores de Confort

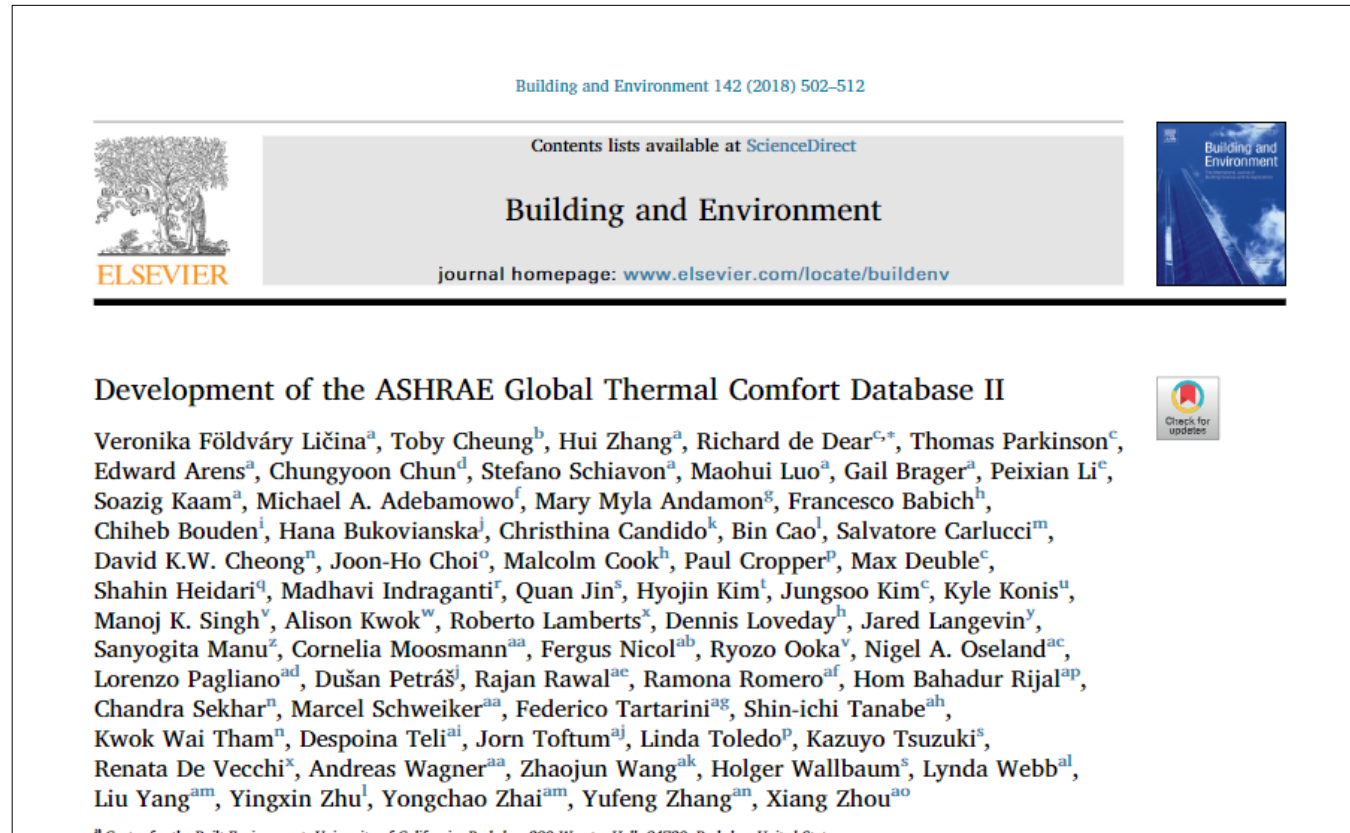
- Depende de comportamientos que se inician de forma consciente o inconsciente y se guían por sensaciones térmicas y de humedad. Ejemplos: (ASHRAE Fundamentals)
 - Alterar la ropa
 - Alterar la actividad
 - Cambiar de postura o ubicación
 - Cambiar la configuración del termostato
 - Abrir una ventana
 - Quejarse
 - Abandonar el espacio
- Sorprendentemente, aunque los climas, las condiciones de vida y las culturas difieren ampliamente en todo el mundo, se ha descubierto que la temperatura que las personas eligen para sentirse cómodas en condiciones similares de ropa, actividad, humedad y movimiento del aire es muy similar. *

* No es del todo cierto. Ver siguientes

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

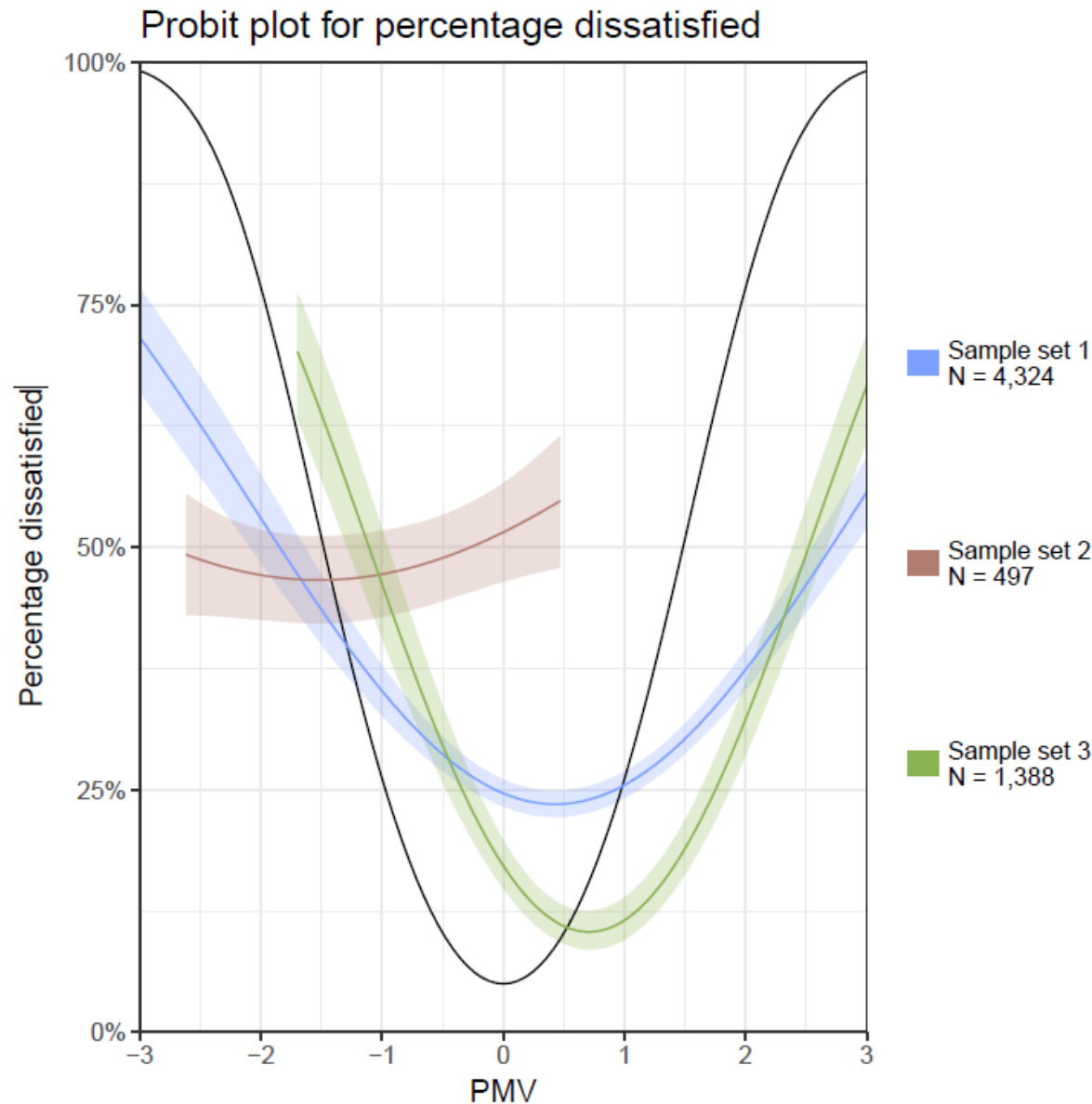


Veronika Földváry Ličina, et Al., Development of the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II, Building and Environment, Volume 142, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.022>

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Hot Semi-Arid

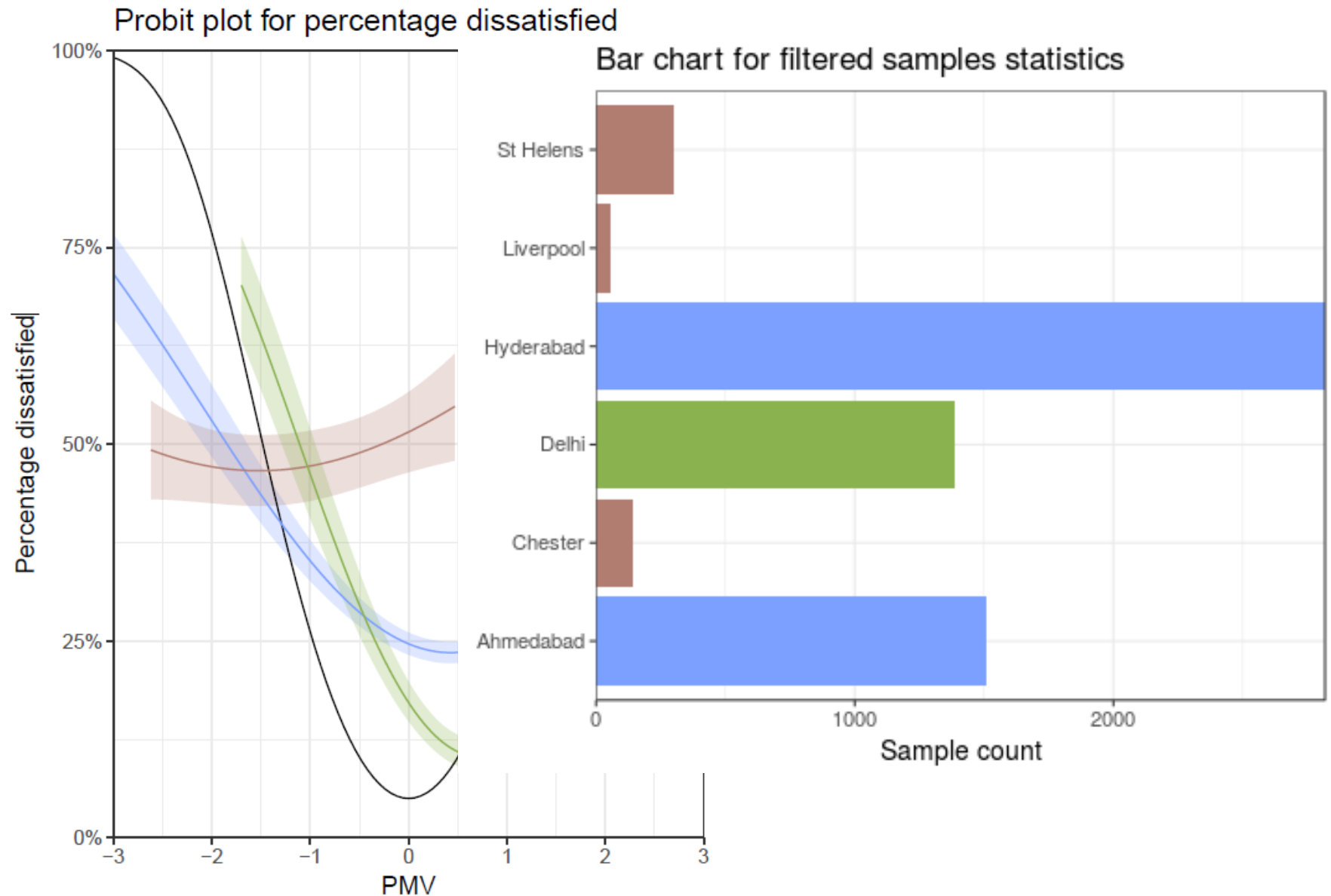
Temperate Oceanic

Monsoon-
Influenced Humid
Subtropical

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



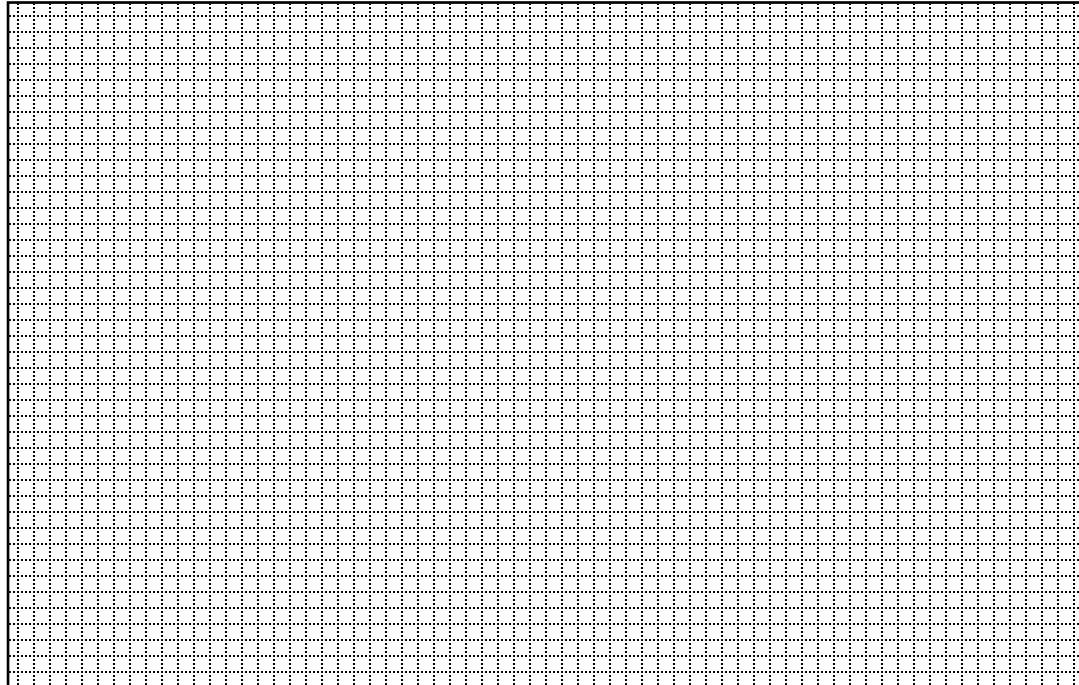
Modelos de Confort

- El cuerpo humano genera calor
- El calor debe ser evacuado

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



2005 ASHRAE Handbook: Fundamentals

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Modelos de Confort

- Ole Fanger (~1970)
- Modelo estadístico.
 - Variación en condiciones de contorno
 - Variación en sujetos de estudio
 - Calificación en escala de 7 valores: -3..0..3

+3	Hot
+2	Warm
+1	Slightly Warm
0	Neutral
-1	Slightly Cool
-2	Cool
-3	Cold

- PMV. Predicted **Mean** Vote

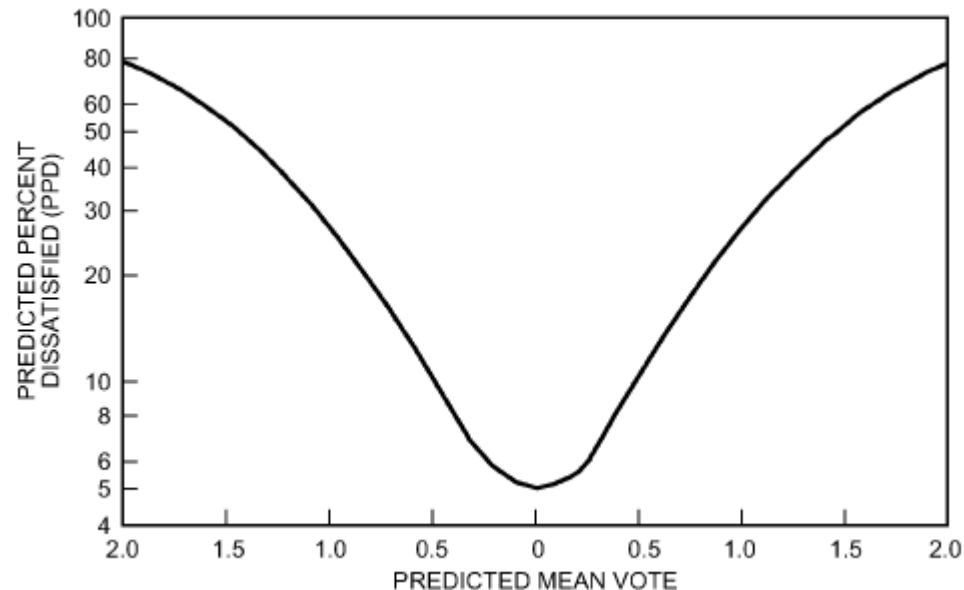
Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Modelos de Confort

- PMV. Predicted Mean Vote
 - Indica sensación térmica promedio
 - No indica nivel de insatisfacción de la población
- PPD. Predicted Percent Dissatisfied



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Modelos de Confort

- Ashrae 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- UNE-EN 16798:2020. Eficiencia energética de los edificios. Ventilación de los edificios. Parte 1: Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido.

Modelos de Confort



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T.,
Hoyt, T., 2020. CBE Thermal Comfort
Tool : online tool for thermal comfort
calculations and visualizations.
SoftwareX 12, 100563.
<https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>

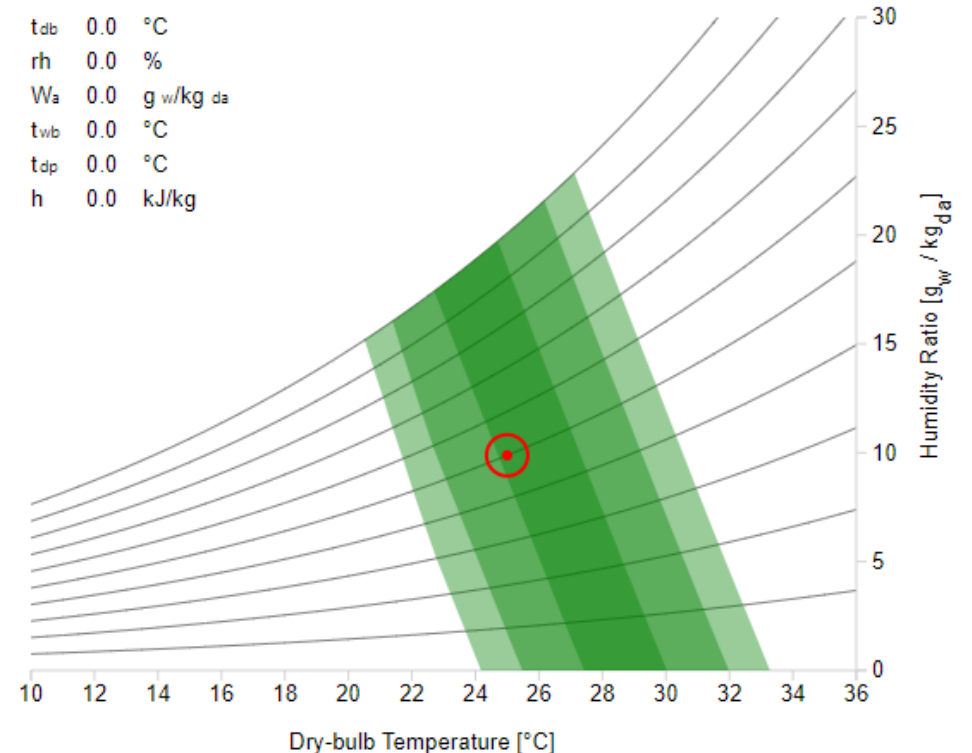
✓ Complies with EN-16798

PMV = -0.16

PPD = 6 %

Category = I

Psychrometric (air temperature)



Modelos de Confort



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

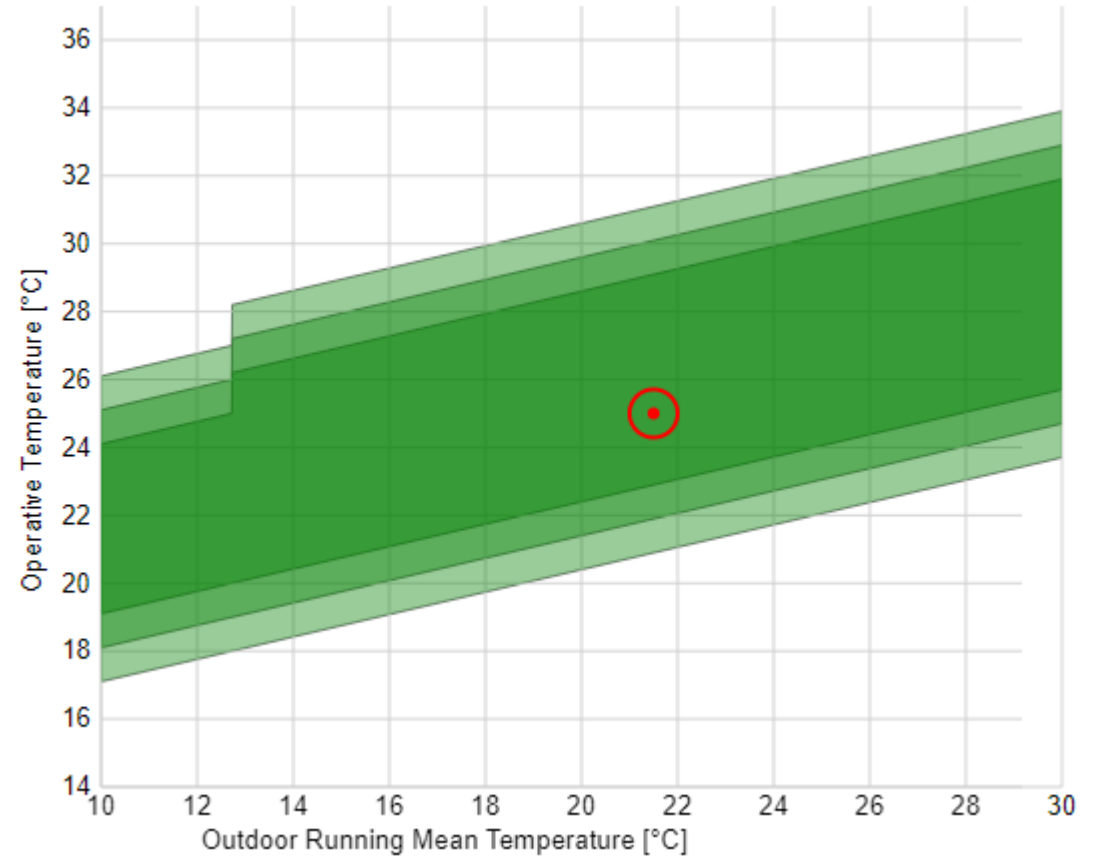
Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T.,
Hoyt, T., 2020. CBE Thermal Comfort
Tool : online tool for thermal comfort
calculations and visualizations.

SoftwareX 12, 100563.

<https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Confort. Sensibilidad

- La situación de confort depende de multitud de factores. Entre ellos (lista no exhaustiva):
- Temperatura Prevalente Exterior
- Velocidad del aire
- Temperatura Radiante
- Vestimenta
- Actividad
- Género

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

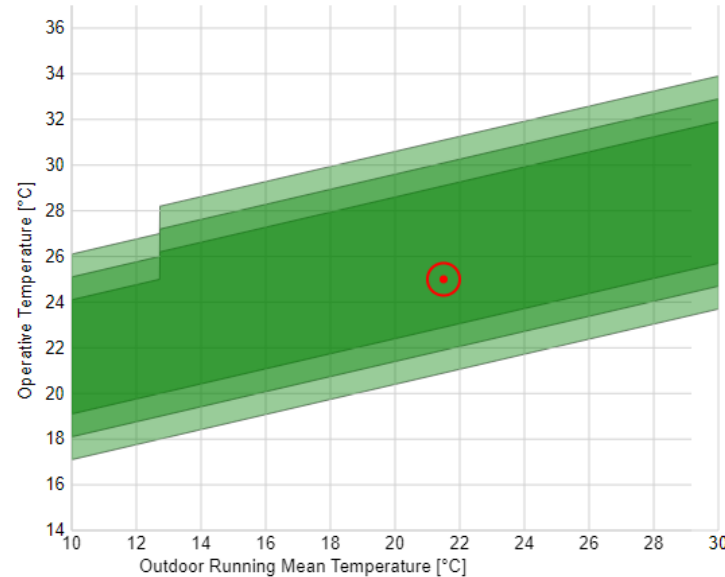
Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Confort. Sensibilidad

Temperatura Prevalente Exterior

- El ser humano adapta sus expectativas y su actividad al entorno.



Confort. Sensibilidad

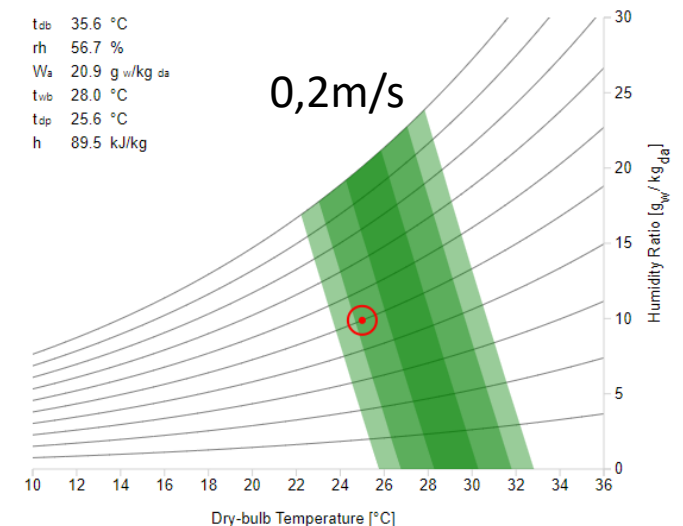
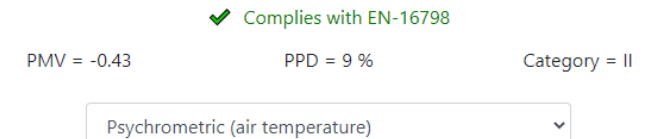
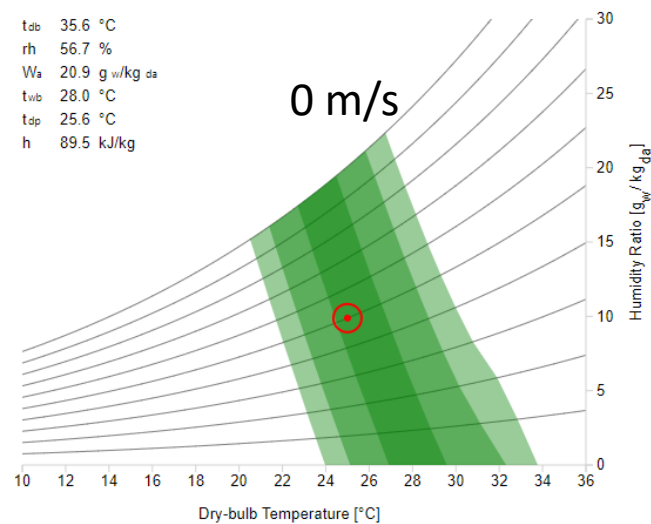
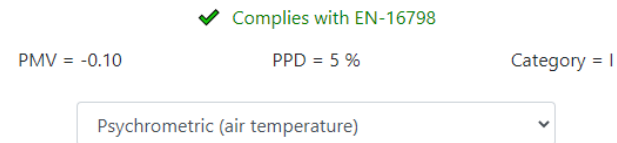
Velocidad del aire

- El movimiento de aire facilita la evacuación del calor del cuerpo humano.

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Confort. Sensibilidad

Temperatura Radiante

- El intercambio térmico se produce por dos fenómenos:
 - Convección (temperatura ambiental, velocidad de aire)
 - Radiación térmica (temperatura radiante del entorno)

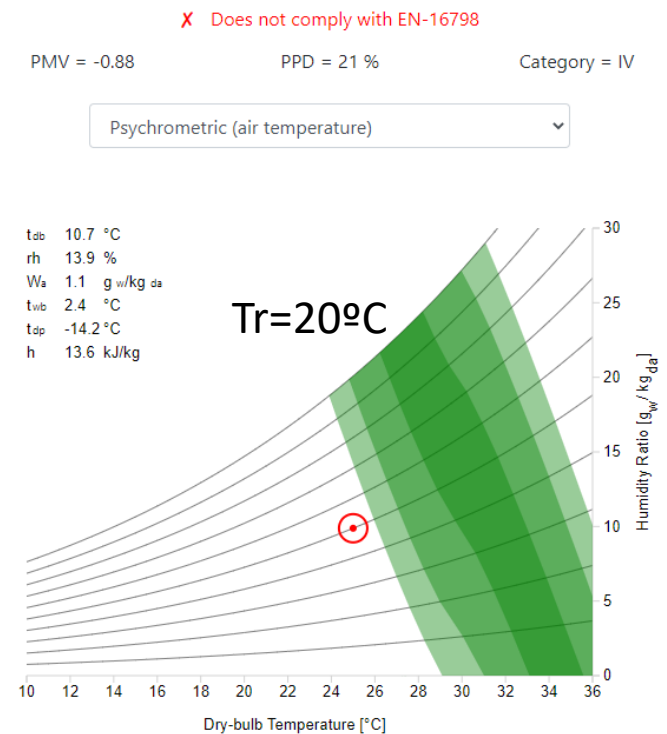
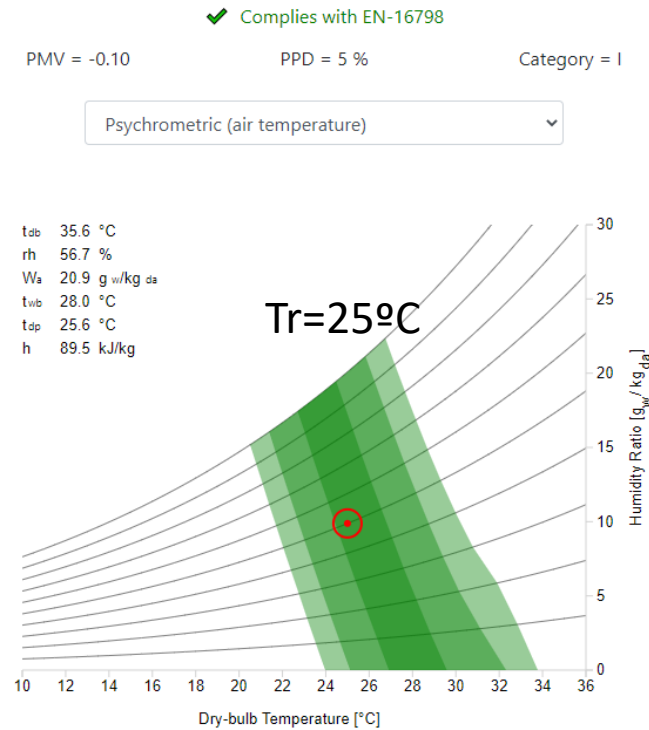
Confort. Sensibilidad

Temperatura Radiante

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Confort. Sensibilidad

Vestimenta

- La ropa ejerce (mayor o menor) resistencia al paso del calor

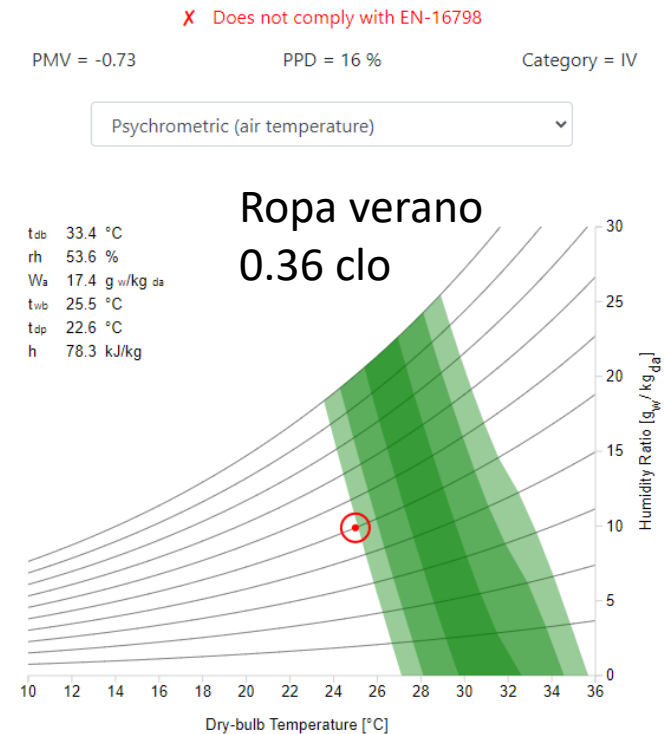
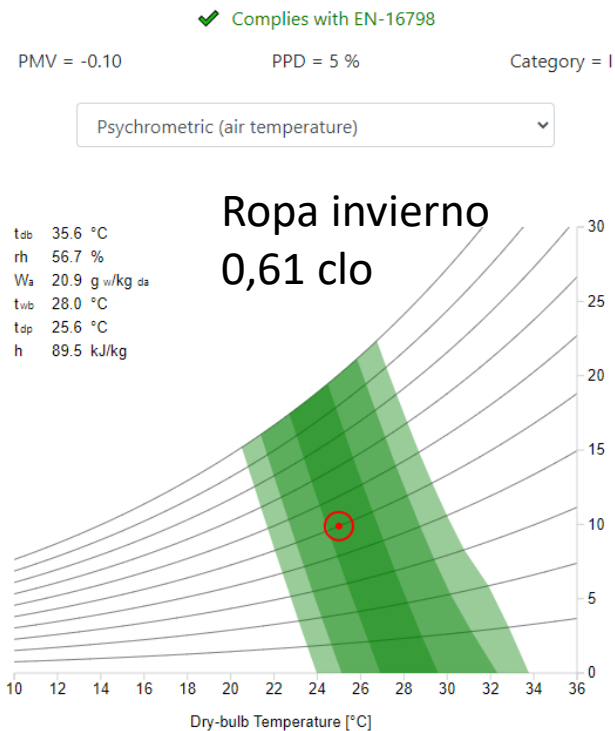
Confort. Sensibilidad

Vestimenta

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Confort. Sensibilidad

Actividad

- El ser humano genera (mayor o menor) calor en función de la actividad que realiza

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Confort. Sensibilidad

Género

- Existen diferencias físicas entre hombres y mujeres.
- Dimensiones (superficie de intercambio)
- Producción de calor ~30%
- **(vestimenta)**

Dr. Roberto Garay-Martinez

DeustoTech

Facultad de Ingeniería

Universidad de Deusto

roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

```
30 REM *in accordance with ISO 7730
40 CLS: PRINT "DATA ENTRY"
50 INPUT "Clothing" (clo): CLO
60 INPUT "Metabolic rate" (met): MET
70 INPUT "External work, normally around 0" (met): WME
80 INPUT "Air temperature" ( C ): TA
90 INPUT "Mean radiant temperature" ( C ): TR
100 INPUT "Relative air velocity" (m/s): VEL
110 PRINT " ENTER EITHER RH OR WATER VAPOR PRESSURE BUT NOT BOTH"
120 INPUT "Relative humidity" ( % ): RH
130 INPUT "Water vapor pressure" ( Pa ): PA
140 DEF FNPS (T) = exp(16.6536-4030.183/(TA+235)) : 'saturated vapour
    pressure, kPa
150 IF PA=0 THEN PA=RH*10*FNPS (TA) : 'water vapour pressure,
    Pa
160 ICL = .155 * CLO : 'thermal insulation of
    the clothing in m2K/W
170 M = MET * 58.15 : 'metabolic rate in W/m2
180 W = WME * 58.15 : 'external work in W/m2
190 MW = M - W : 'internal heat
    production in the human body
200 IF ICL < .078 THEN FCL = 1 + 1.29 * ICL ELSE FCL=1.05+.645*ICL
205 : 'clothing area factor
210 HCF=12.1*SQR (VEL) : 'heat transf.
    coefficient by forced convection
220 TAA = TA + 273 : 'air temperature in
    Kelvin
230 TRA = TR + 273 : 'mean radiant
    temperature in Kelvin
240 '----- CALCULATE SURFACE TEMPERATURE OF CLOTHING BY ITERATION-----
250 TCLA = TAA + (35.5-TA) / (3.5*(6.45*ICL+.1))
255 'first guess for surface temperature of clothing
260 P1 = ICL * FCL : 'calculation term
270 P2 = P1 * 3.96 : 'calculation term
280 P3 = P1 * 100 : 'calculation term
290 P4 = P1 * TAA : 'calculation term
300 P5 = 308.7 - .028 * MW + P2 * (TRA/100) ^ 4 : 'calculation term
310 XN = TCLA / 100
320 XF = XN
330 N=0 : 'N: number of
    iterations
340 EPS = .00015 : 'stop criteria in
    iteration
350 XF = (XF+XN) / 2
```

Herramientas

<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T., Hoyt, T., 2020. CBE Thermal Comfort Tool :
online tool for thermal comfort calculations and visualizations. SoftwareX 12, 100563.
<https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Herramientas

<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

Dos normativas:

- ASHRAE 55 (USA)
- EN 16798 (EU / ES)

Mismos conceptos, distintos criterios:

- ASHRAE: SI/NO
- CEN: Varias categorías (I-III + IV)

Métodos estáticos y adaptativos

Herramientas

<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Pruebas:

- Código Técnico de la Edificación (España).
 - Referencia de calefacción: 20°C
 - Referencia de refrigeración: 25°C
- Normativa laboral oficinas (España)
 - Referencia de calefacción: 17°C
 - Referencia de refrigeración: 27°C
- Meteorología anómalamente cálido
 - Temperatura prevalente: 35°C
 - Referencia de refrigeración: 26°C

Cambio climático

- Cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos
 - Principalmente por las actividades humanas
- Efectos
 - **Temperaturas más cálidas**
 - Sequías, escasez de agua, incendios graves
 - Aumento del nivel del mar, inundaciones
 - Deshielo de los polos
 - Tormentas catastróficas
 - Disminución de la biodiversidad

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Cambio climático

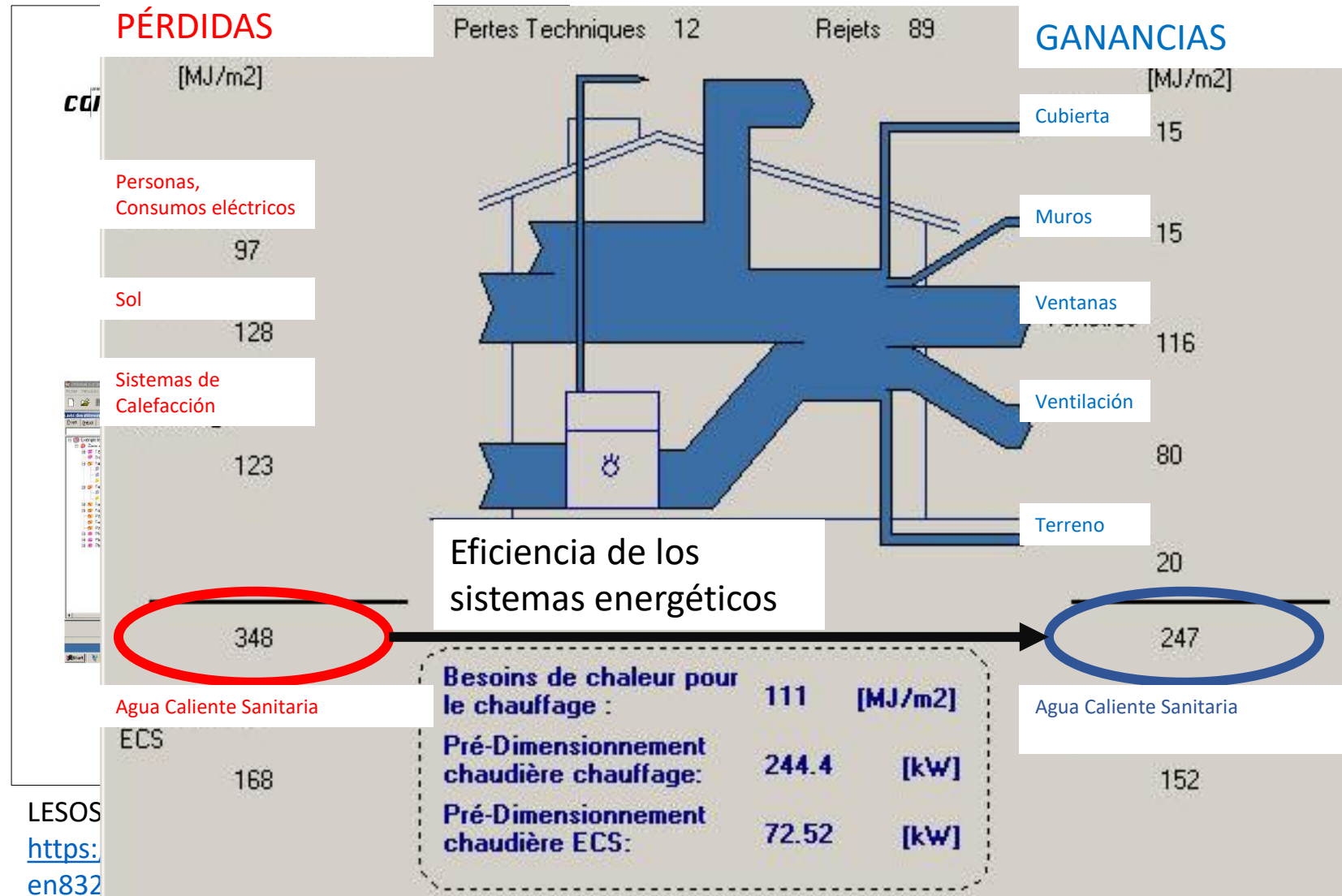
- Efectos sobre la salud
 - **Confort humano (variación de temperaturas medias, extensión de estaciones,...)**
 - Situaciones de calor extremo (olas de calor)
- Efectos sobre los sistemas sanitarios
 - Mayor uso de energía y recursos dedicados a climatización
- Cambios societarios con afección a la salud
 - Uso más generalizado de sistemas de refrigeración. Mayor riesgo de legionela.

Termo-Energética de edificios

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

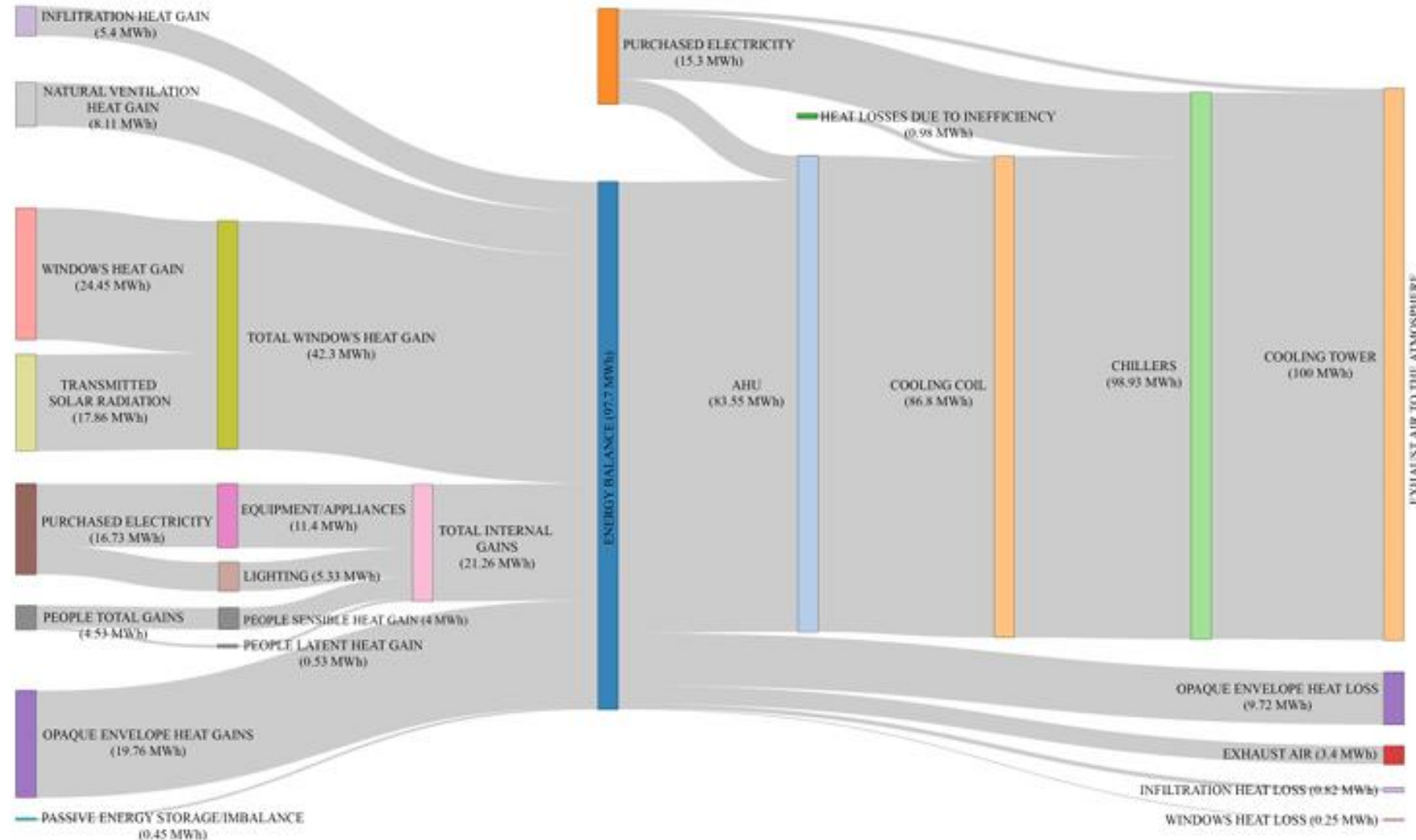


Refrigeración

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Abdelalim, Aly and Zixiao Shi. "ENERGY FLOW ANALYSIS ON A MULTI-ZONAL BUILDING SCALE USING SANKEY DIAGRAMS." (2016).

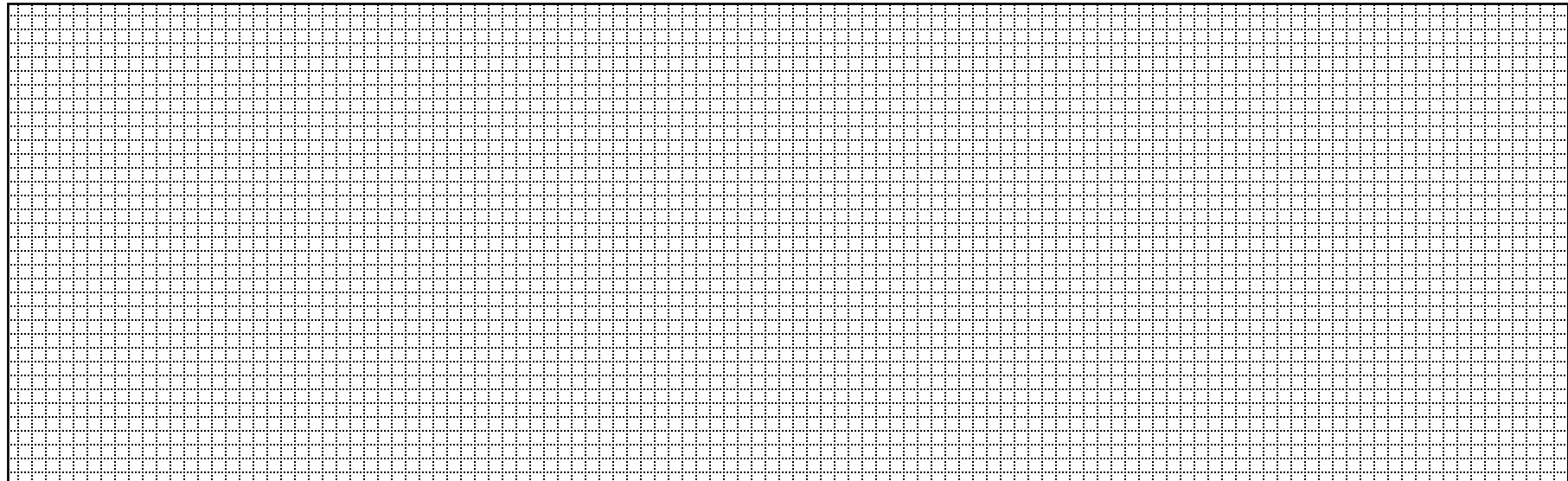
Fenómeno Transitorio

- Consumo térmico de un edificio (verde-naranja)
- Temperatura ambiental (azul)

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



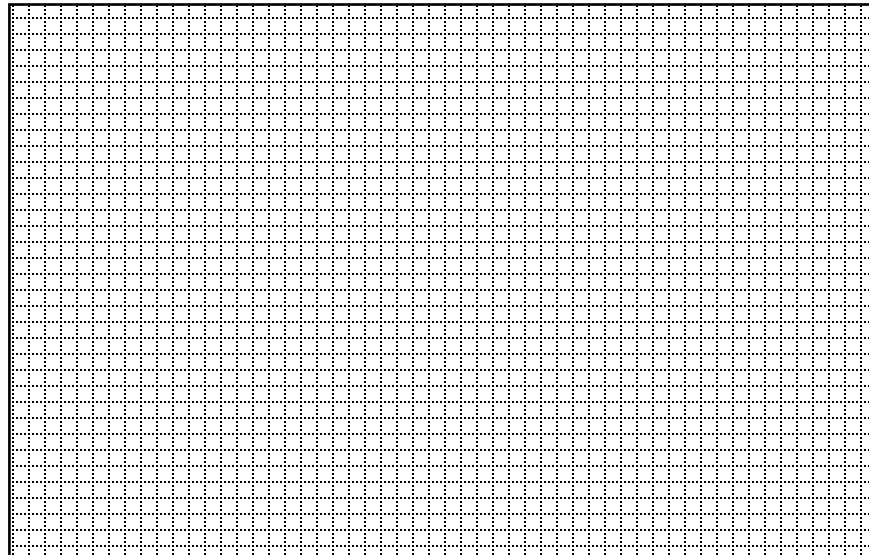
Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Relaciones principales

- Ambiente exterior próximo al rango de confort humano: sin consumo
- Relación lineal por de consumos de calefacción/refrigeración



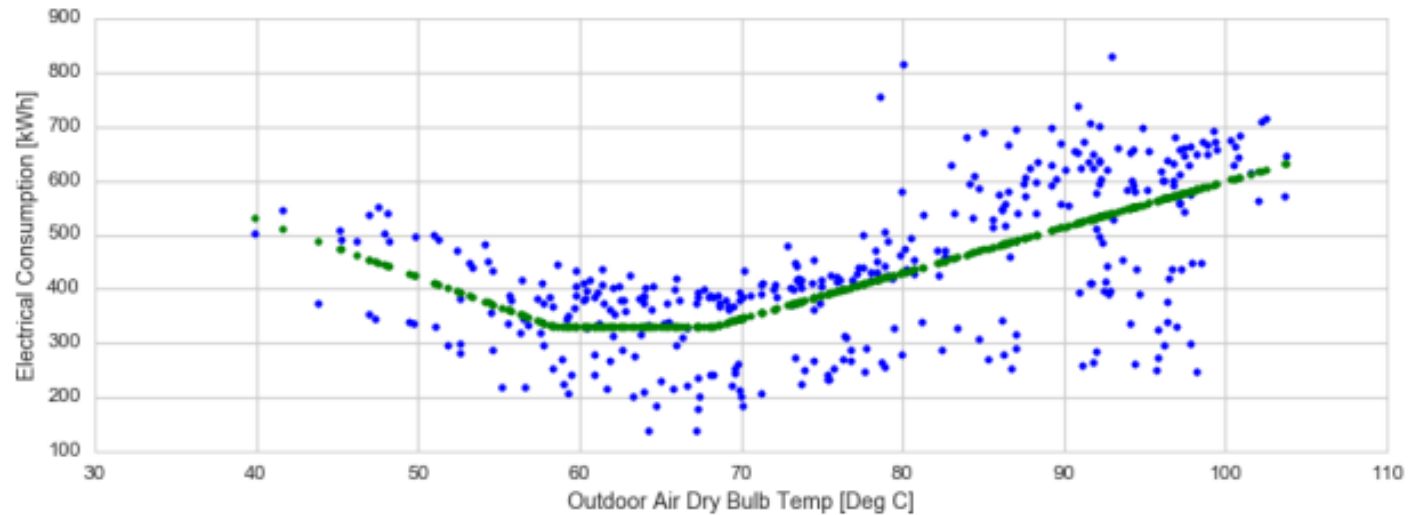
Fels, Margaret F. 1986. "PRISM: An Introduction." *Energy and Buildings* 9 (1–2): 5–18. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(86\)90003-4](https://doi.org/10.1016/0378-7788(86)90003-4)

Relaciones principales

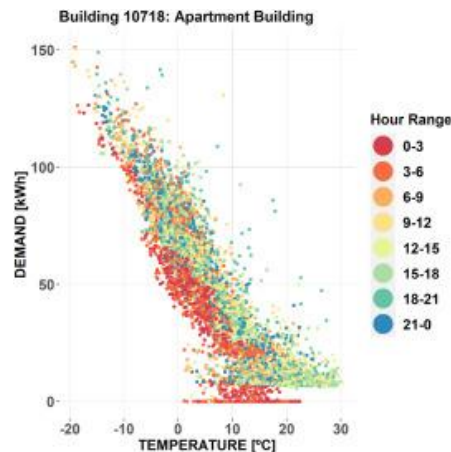
Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

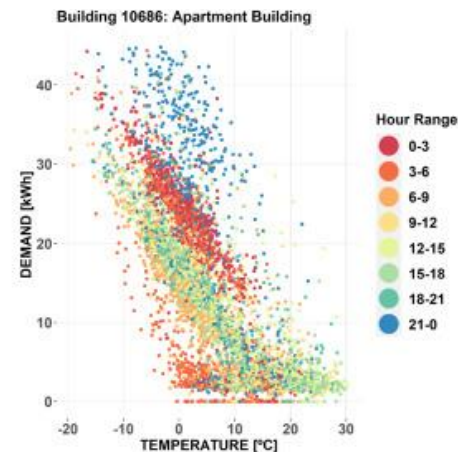
Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Miller, C., Screening Meter Data:
Characterization of Temporal Energy Data
from Large Groups of Non-Residential
Buildings, ETH Zurich, 2016,
<http://hdl.handle.net/20.500.11850/125778>



(a)



(b)

Mikel Lumbreras, Roberto Garay-Martinez, Beñat Arregi, Koldobika
Martin-Escudero, Gonzalo Diarce, Margus Raud, Indrek Hagu, Data
driven model for heat load prediction in buildings connected to
District Heating by using smart heat meters, Energy, 2022,
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122318>

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Sensibilidad climática

- Las cargas térmicas de calefacción & refrigeración están correlacionadas con las condiciones climáticas exteriores

Clima frío	<u>Gran</u> Carga de calefacción & <u>Pequeña</u> carga de refrigeración
Clima cálido	<u>Pequeña</u> Carga de calefacción & <u>Gran</u> carga de refrigeración
Gran irradiancia solar	<u>Menor</u> Carga de calefacción & <u>Mayor</u> carga de refrigeración
Alta velocidad de viento	Impacto variable <u>~Mayor</u> Carga de calefacción & <u>~Menor</u> carga de refrigeración

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

World Map of Köppen–Geiger Climate Classification

updated with CRU TS 2.1 temperature and VASCLIM v1.1 precipitation data 1951 to 2000



Main climates

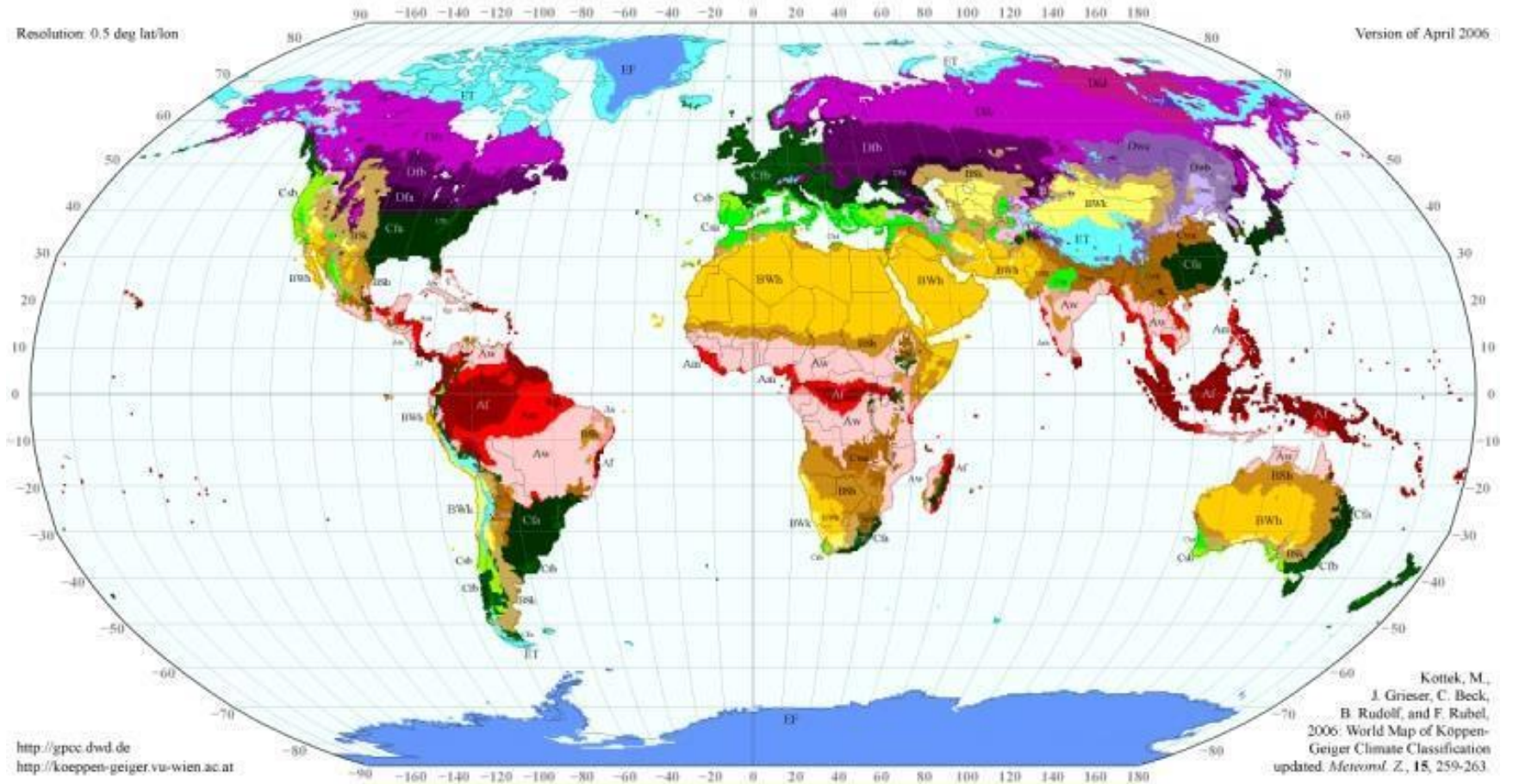
A: equatorial
B: arid
C: warm temperate
D: snow
E: polar

Precipitation

W: desert
S: steppe
f: fully humid
s: summer dry
w: winter dry
m: monsoonal

Temperature

h: hot arid
k: cold arid
a: hot summer
b: warm summer
c: cool summer
d: extremely continental
F: polar frost
T: polar tundra

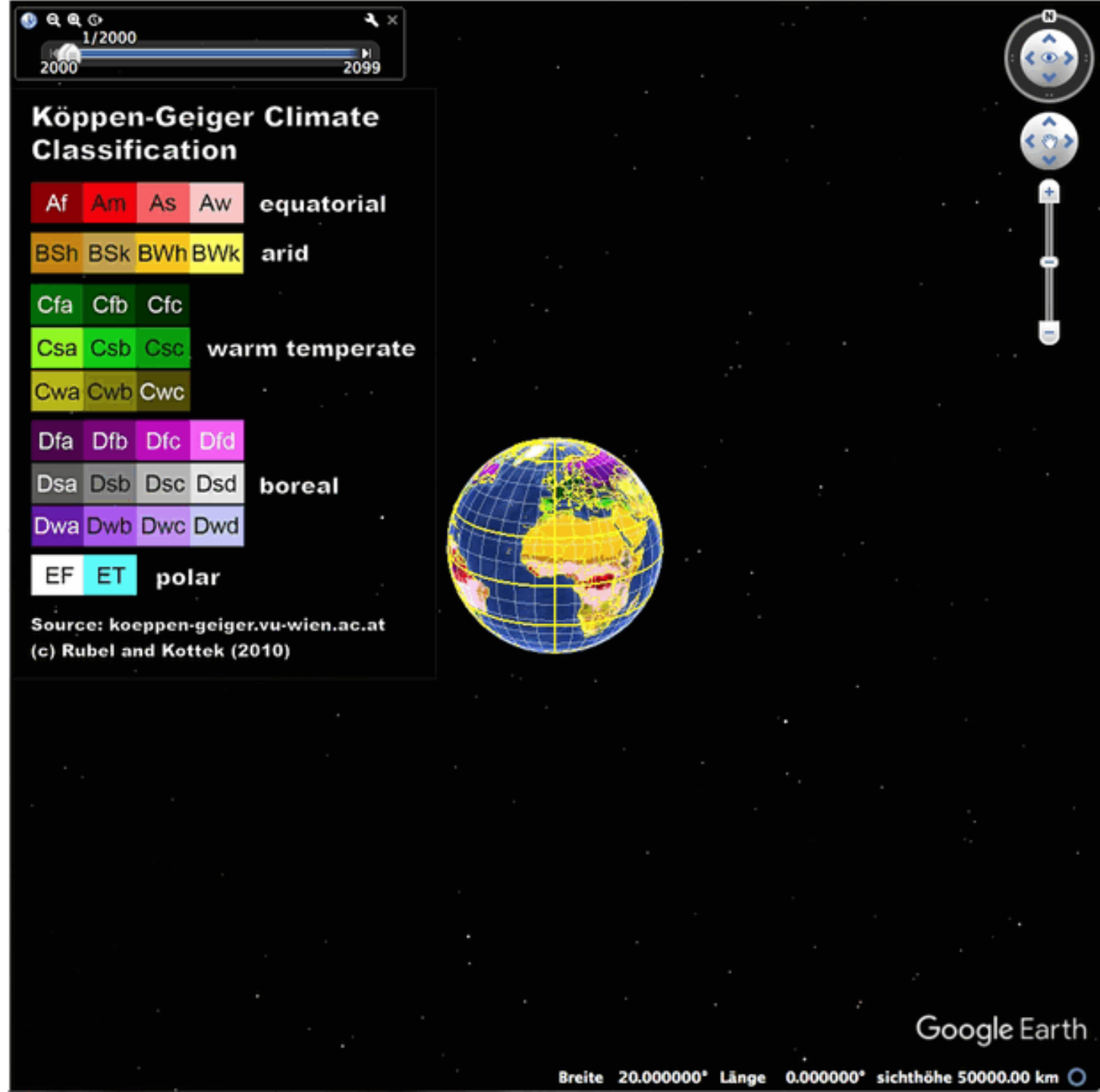


Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Rubel, F., and M. Kottek, 2010: Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorol. Z.*, 19, 135-141. DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0430.



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Sensibilidad climática

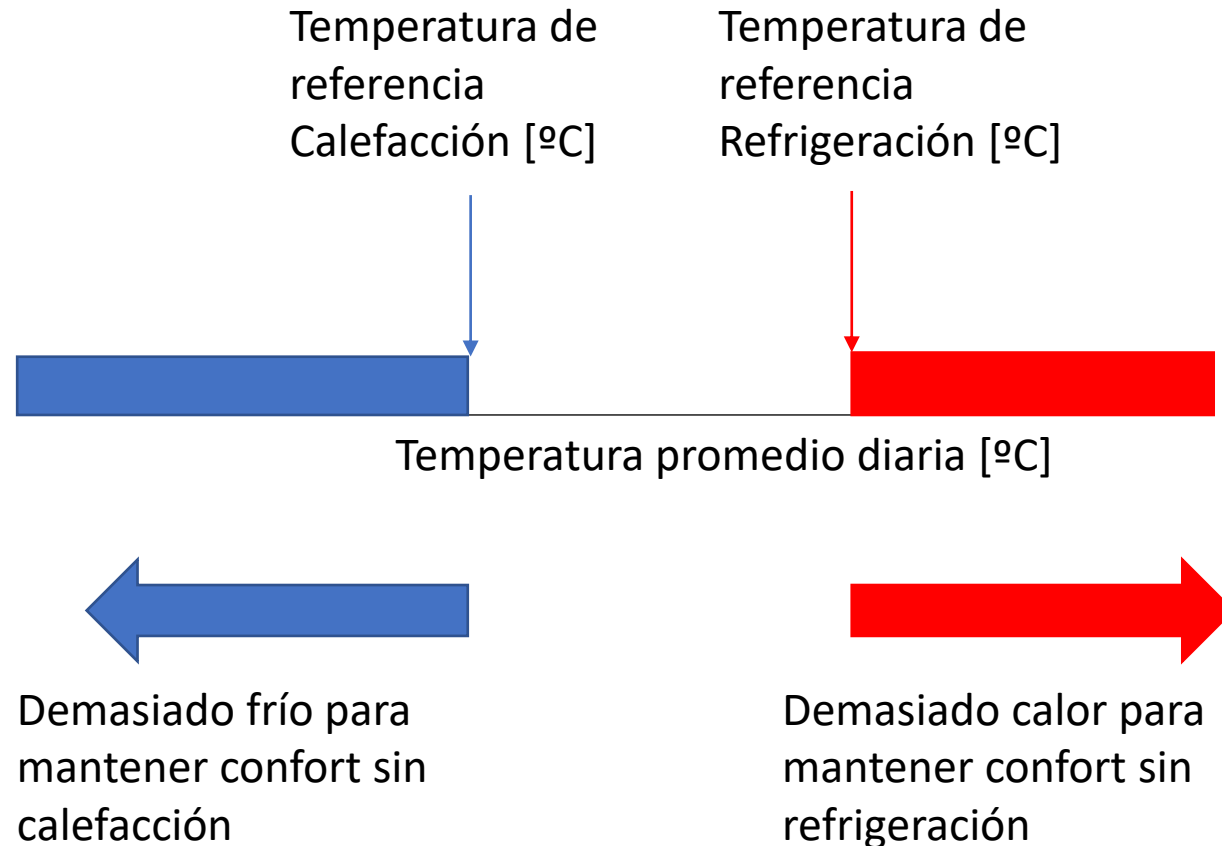
- Los métodos de Grados-Día (Degree-Day Methods, GD o DD) computan las diferencias negativas/positivas de la temperatura diaria promedio frente a una temperatura de referencia
- Temperaturas de referencia típicas
 - Grados Día de Calefacción: 15°C
 - Grados Día de Refrigeración: 23°C
- Las temperaturas de referencia son dependientes del edificio y de su uso
 - Edificio consumo energético casi nulo $T_{ref} \sim 10-12^{\circ}\text{C}$
 - Edificio típico $T_{ref} \sim 15^{\circ}\text{C}$
 - Residencia 3ª edad $T_{ref} \sim 19-21^{\circ}\text{C}$

Sensibilidad climática

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Sensibilidad climática

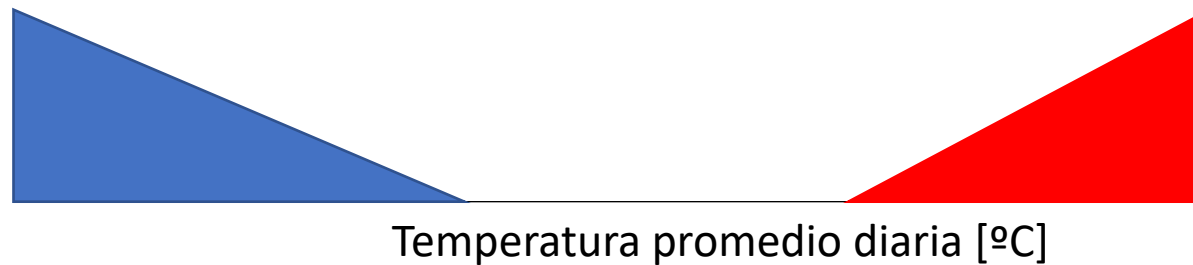
Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

$$HDD = \sum_{day} \max(T_{ref} - T_{amb,mean}, 0)$$

$$CDD = \sum_{day} \max(T_{amb,mean} - T_{ref}, 0)$$

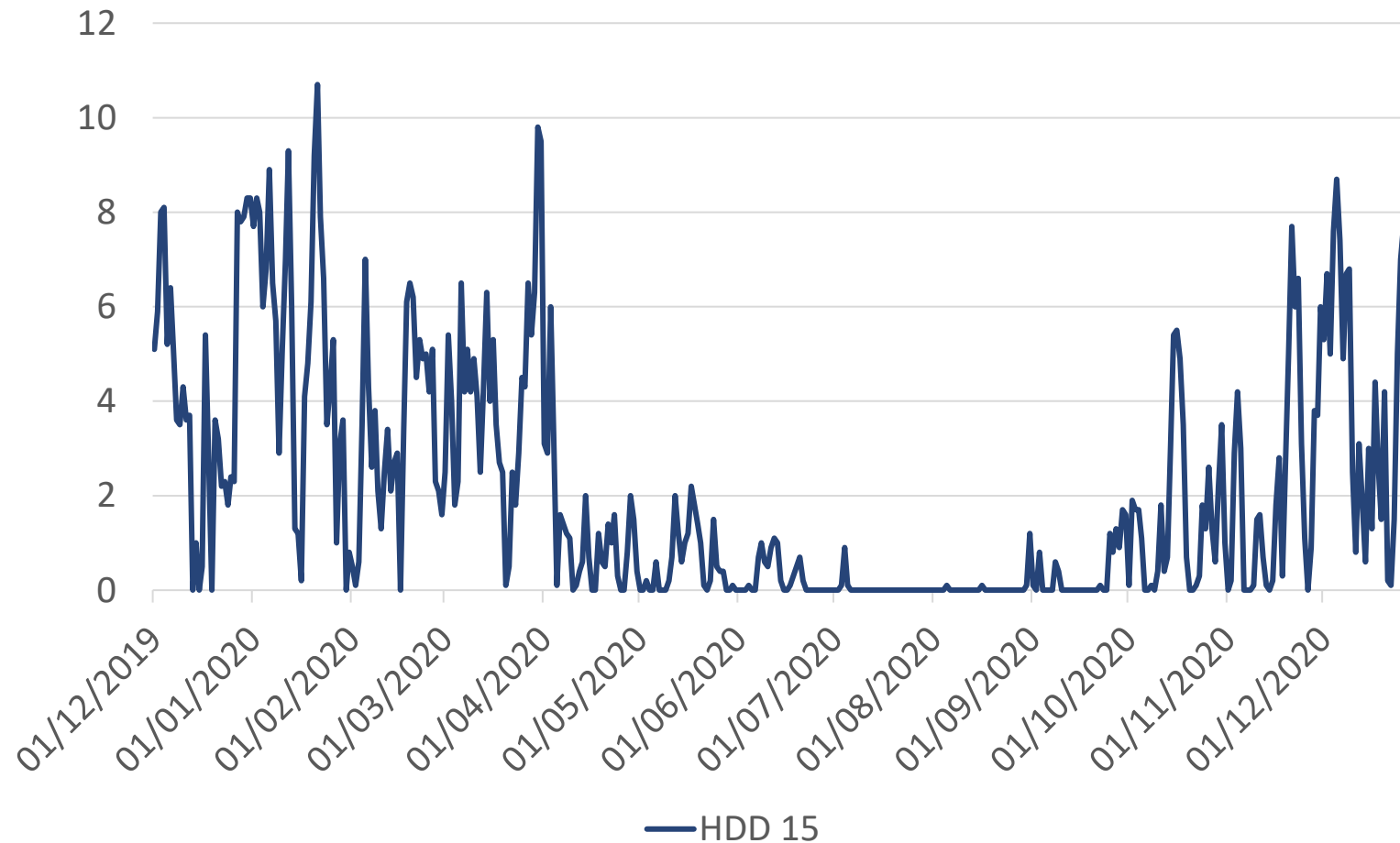


Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Sensibilidad climática

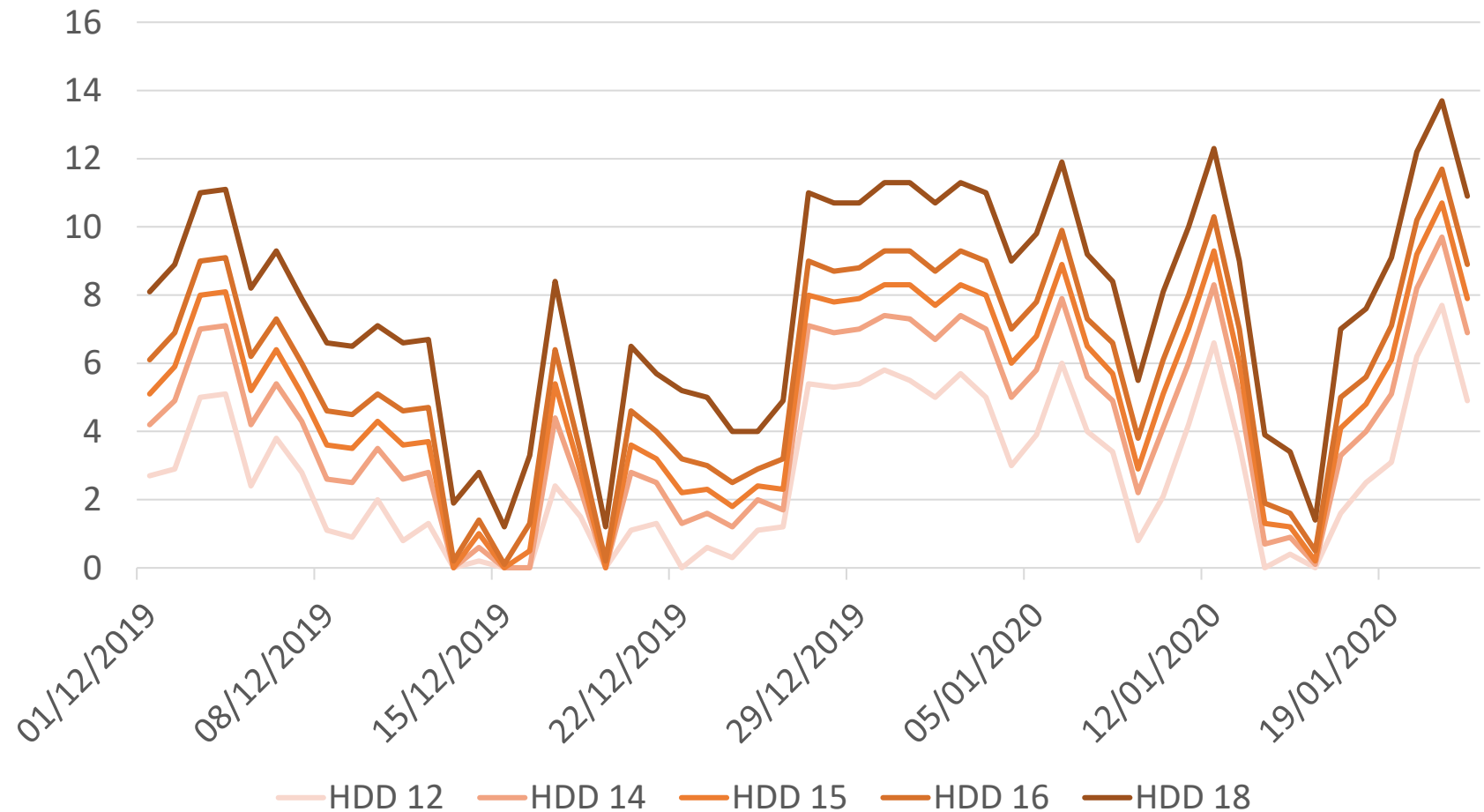


Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

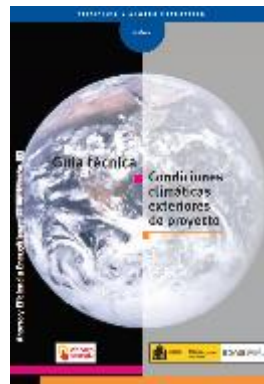
Sensibilidad climática



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



IDAE. Guía técnica Condiciones climáticas exteriores de proyecto. 2010
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf

Guía técnica

Condiciones climáticas exteriores de proyecto

Provincia	Estación	Indicativo
Vizcaya	Bilbao (Aeropuerto Sondica)	1082

UBICACIÓN: ENTORNO CIUDAD

Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO

a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T seca	Hum. relativa	T terreno	Rad
39	43°17'53"	02°54'21" W	87.600 (1998-2007)	(3) 29.200 (1998-2007)		58.400 (1998-2007)

CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)

TSMIN (°C)	TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMDC (°C)	HUMCOA (%)	OMA (°C)
-6,0	-0,2	1,2	10,7	89	31,4

CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)

TSMAX (°C)	TS_0,4 (°C)	THC_0,4 (°C)	TS_1 (°C)	THC_1 (°C)	TS_2 (°C)	THC_2 (°C)	OMDR (°C)
41,9	31,2	21,9	28,8	21,3	26,8	20,6	16,3

CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA HÚMEDA EXTERIOR MÁXIMA)

TH_0,4 (°C)	TSC_0,4 (°C)	TH_1 (°C)	TSC_1 (°C)	TH_2 (°C)	TSC_2 (°C)
22,8	30,6	21,8	29,5	20,9	27,7

VALORES MEDIOS MENSUALES

Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20	GDR_20	RADH (kWh/m² día)	TTERR (°C)
Enero	9,3	10,9	183	332	0	1,4	
Febrero	9,3	10,9	168	303	1		
Marzo	11,8	13,7	126	258	4		
Abril	12,8	14,5	94	221	5		
Mayo	15,7	17,4	42	150	17		
Junio	18,7	20,2	10	74	33		
Julio	19,8	21,3	3	47	42		
Agosto	20,7	22,4	2	36	58		
Septiembre	18,9	21,1	11	69	37		
Octubre	16,7	18,7	33	123	21		
Noviembre	11,6	13,4	117	252	1		
Diciembre	9,3	11,0	181	330	0		

HDD (15°C)

HDD (20°C)

CDD (20°C)

Rosa de los vientos

WNW

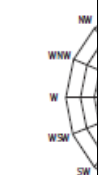
W

WSW

SW

Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20	GDR_20
Enero	9,3	10,9	183	332	0
Febrero	9,3	10,9	168	303	1
Marzo	11,8	13,7	126	258	4
Abril	12,8	14,5	94	221	5
Mayo	15,7	17,4	42	150	17
Junio	18,7	20,2	10	74	33
Julio	19,8	21,3	3	47	42
Agosto	20,7	22,4	2	36	58
Septiembre	18,9	21,1	11	69	37
Octubre	16,7	18,7	33	123	21
Noviembre	11,6	13,4	117	252	1
Diciembre	9,3	11,0	181	330	0

HDD (15°C)
HDD (20°C)
CDD (20°C)

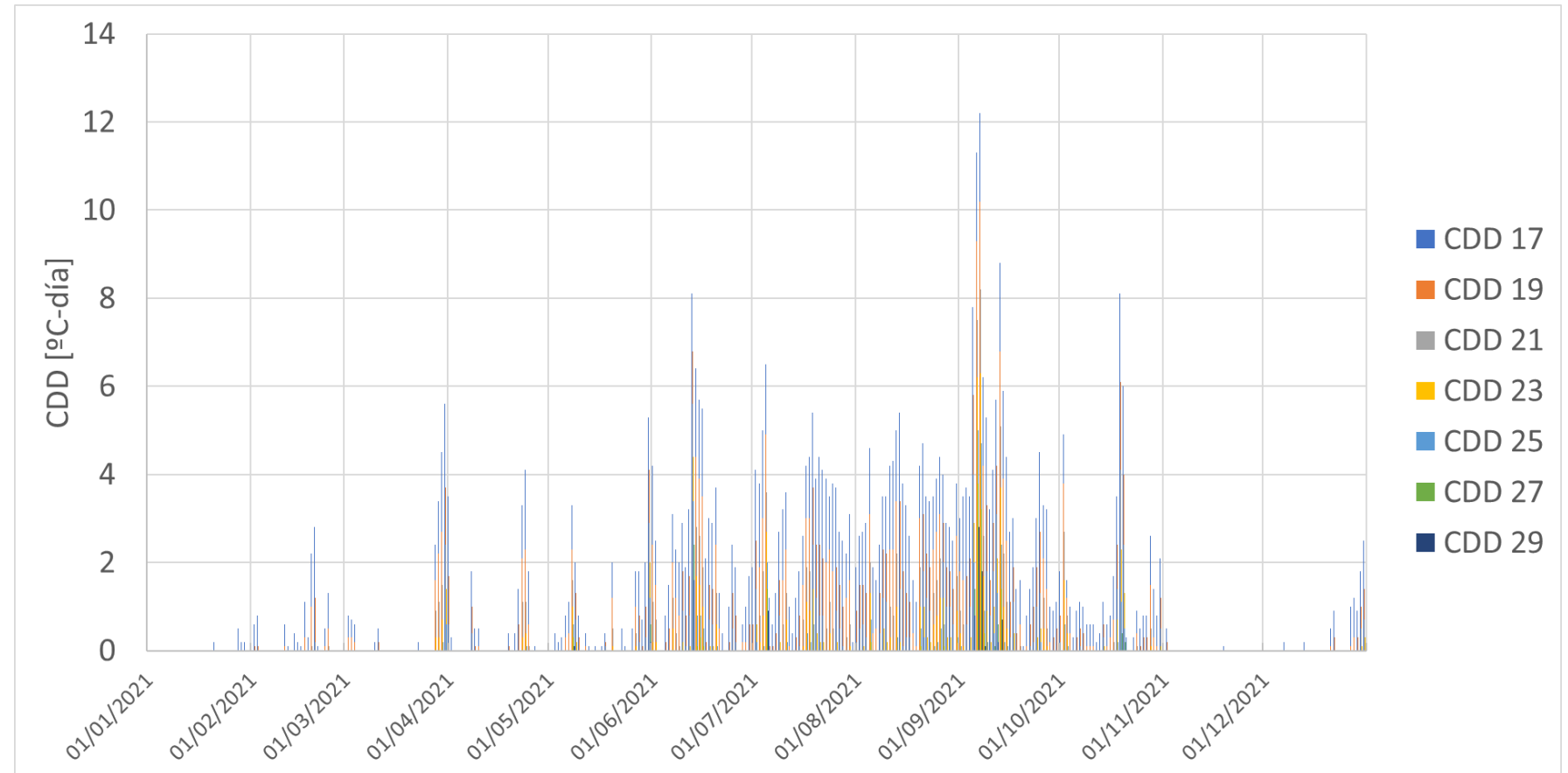


Refrigeración

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

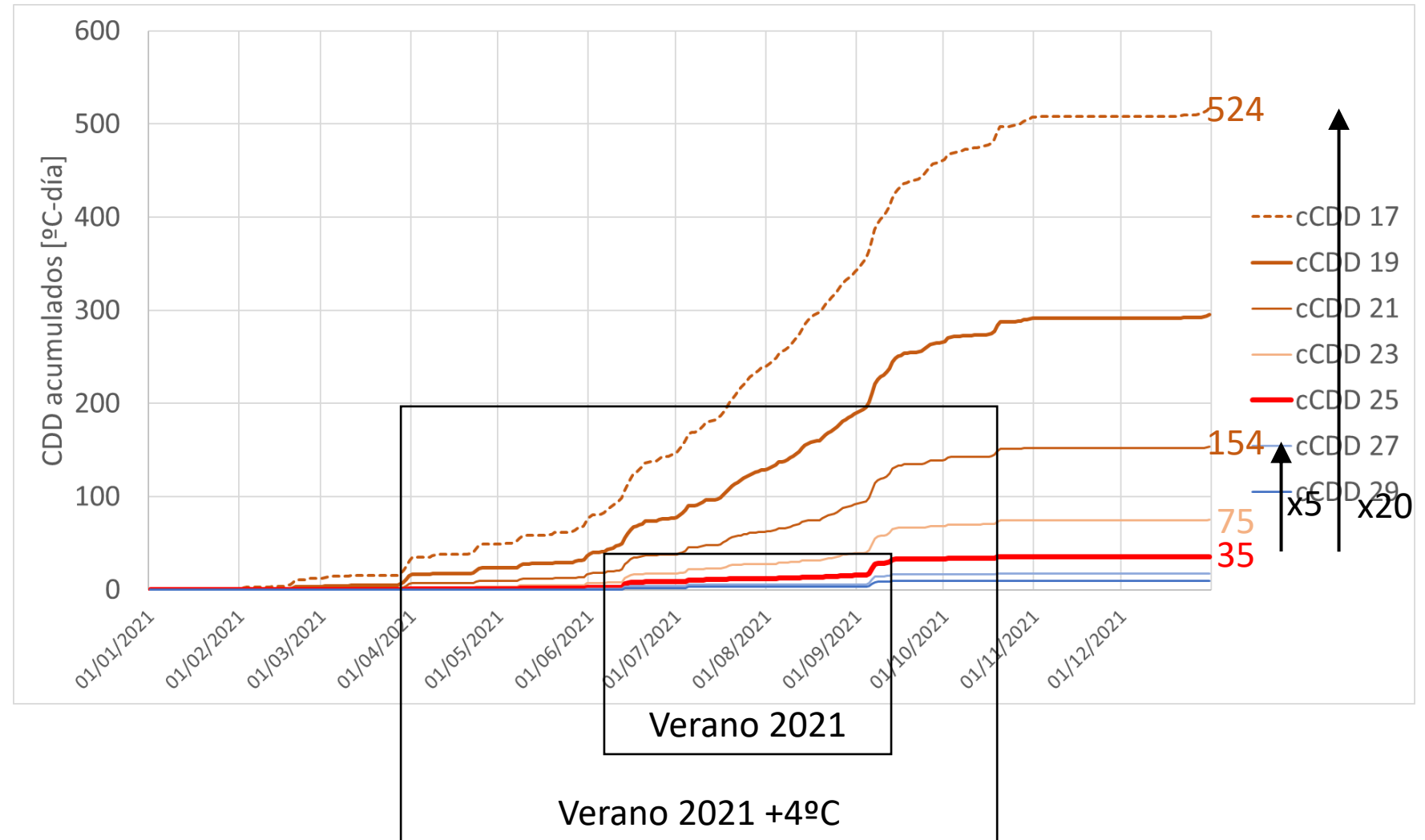


Refrigeración

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

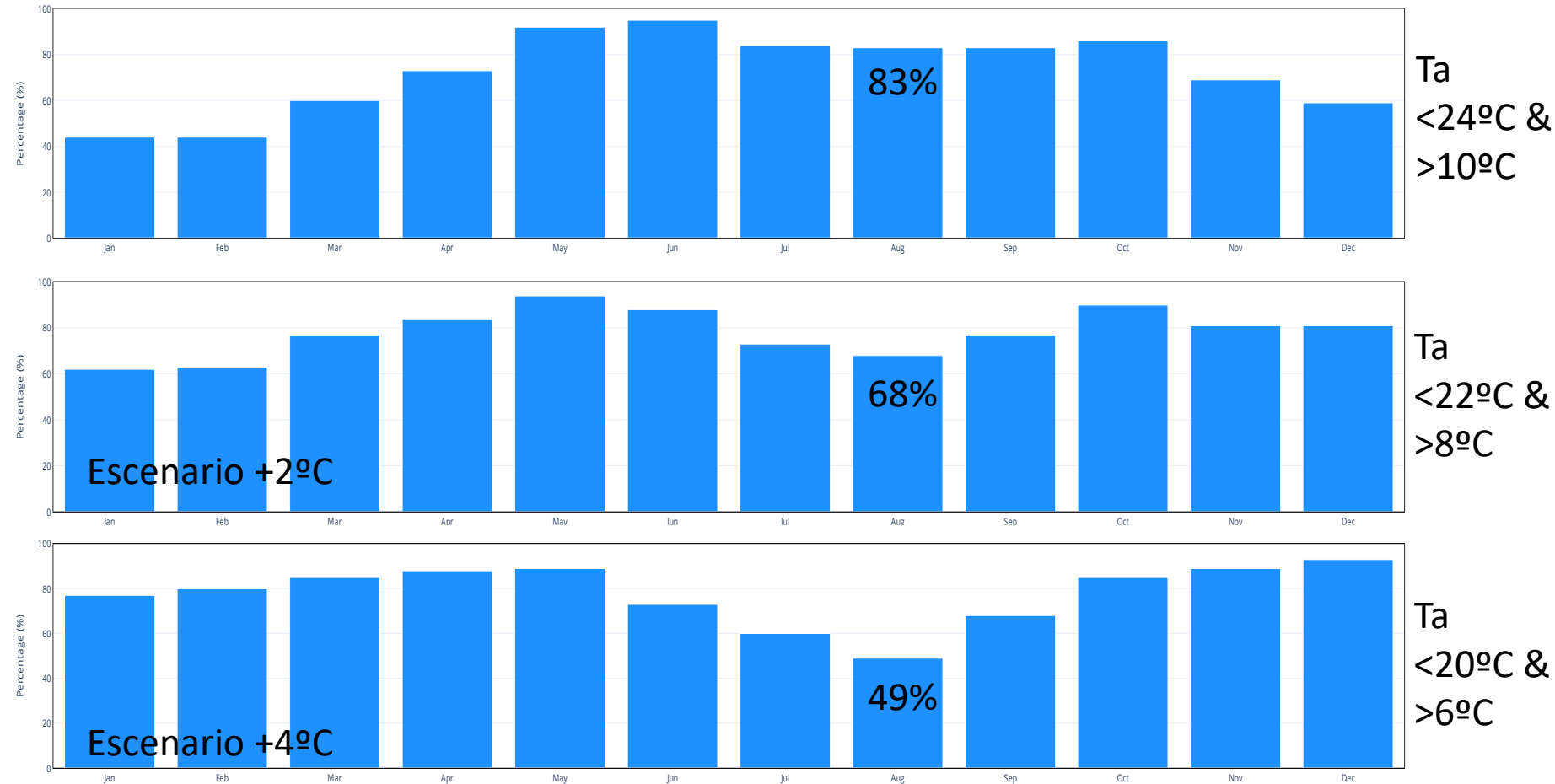
Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Ventilación natural

Fracción de h/mes



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

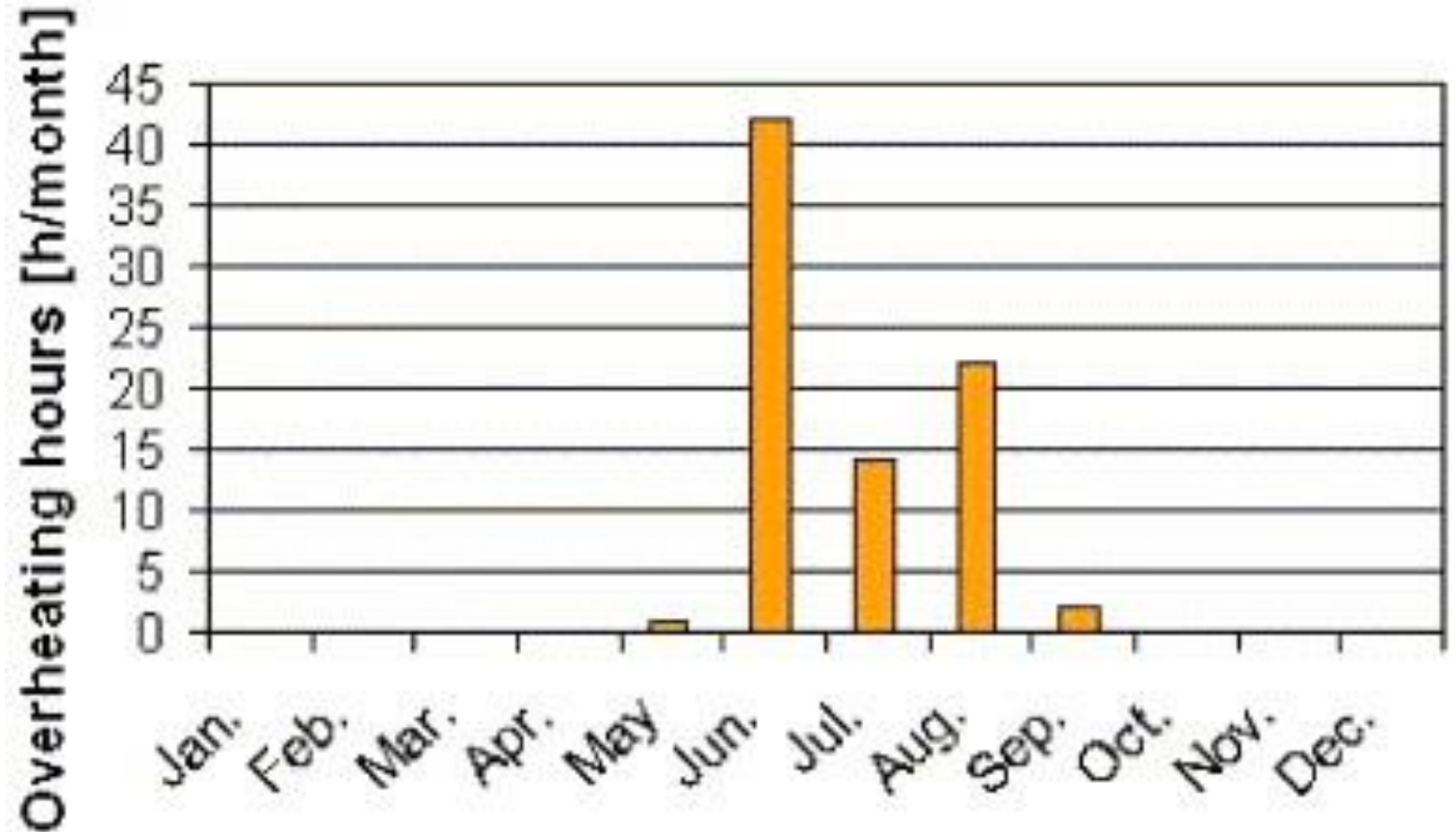
Sobrecalentamiento y Confort

- Los sistemas de refrigeración pueden refrigerar cualquier edificio.
 - Limitaciones de coste operacional?
 - Necesidad de instalar y dimensionar un sistema?
 - Necesidad de adaptar y redimensionar un sistema ante el incremento de olas de calor?
- En climas templados y fríos
 - No es habitual instalar sistemas de refrigeración
 - No se operan 24/365
 - Se asume un número pequeño de horas/año fuera de confort

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

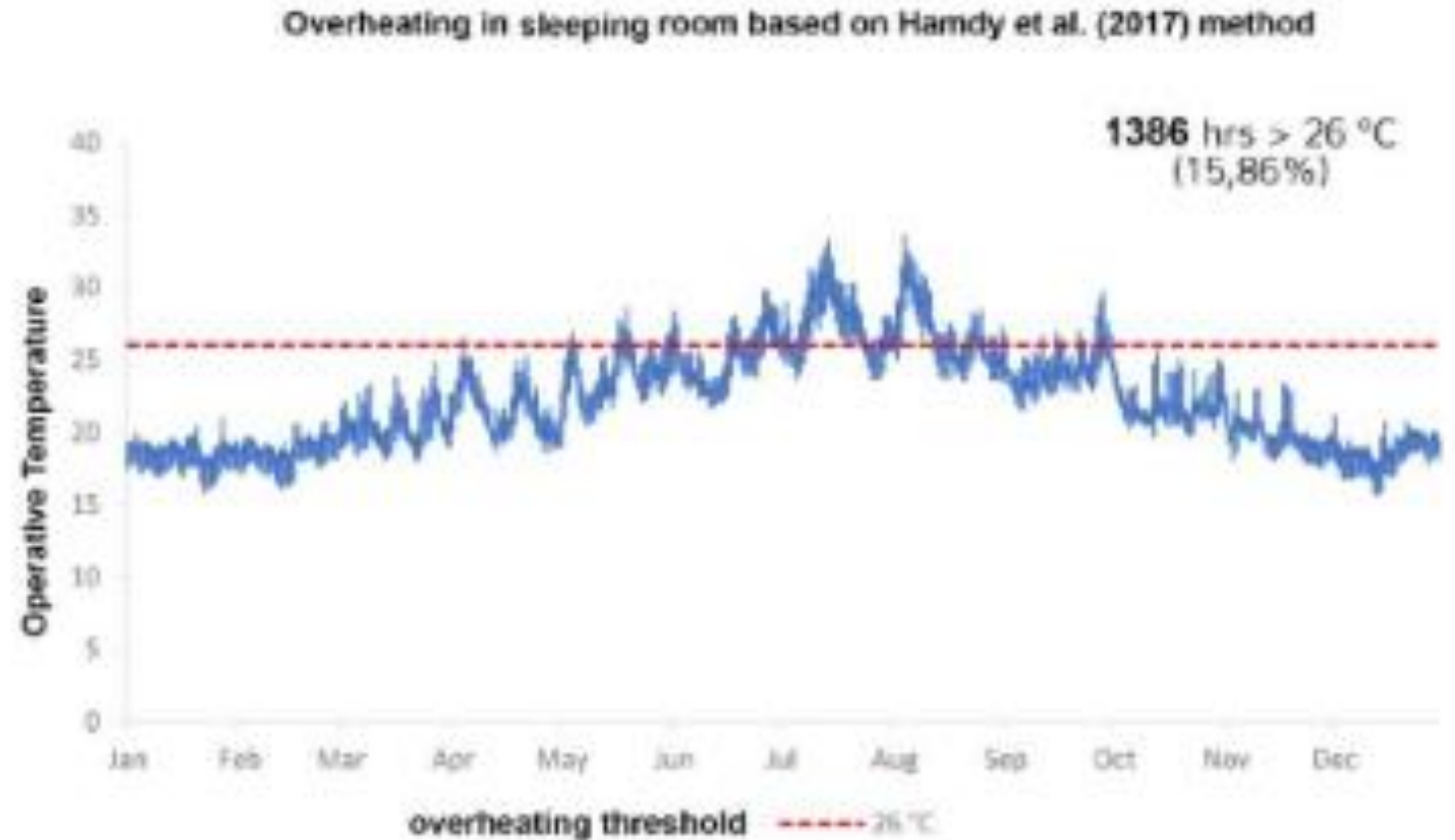
Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Confort en acristalamientos

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



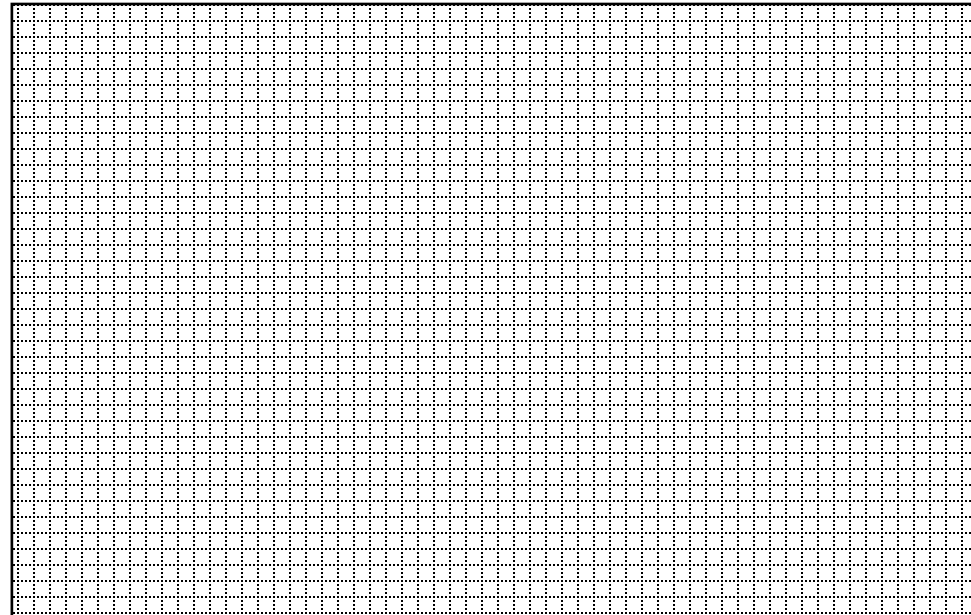
Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Confort en acristalamientos

- El sol Calienta (mucho)
 - Los acristalamientos
 - La zona próxima a la fachada



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Confort en acristalamientos

- Los acristalamientos presentan menores niveles de aislamiento que el resto del edificio.
- En ocasiones, los niveles de estanquidad son pobres
 - Se generan zonas frías y corrientes de aire en su proximidad

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Mitigación

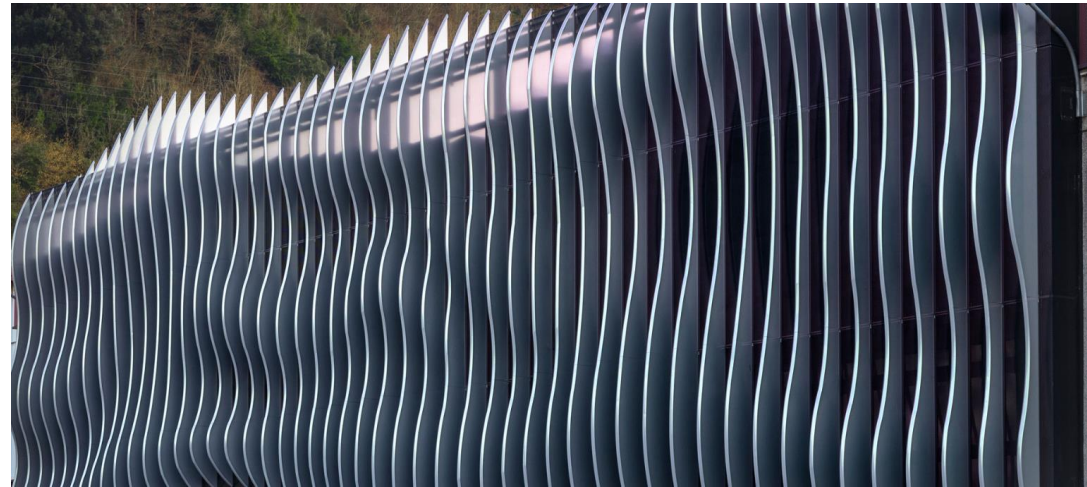
- Incidencia solar
 - Elementos de sombreadamiento
- Sobrecalentamiento
 - Enfriamiento “gratuito”/nocturno
 - Sistemas de climatización con recuperador de calor y/o enfriamiento evaporativo

Elementos de sombreamiento

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



<https://uxama.com/>



Gobierno Vasco



<https://www.imar-innometal.com/>

KINETIC

BUILDING

FACADE

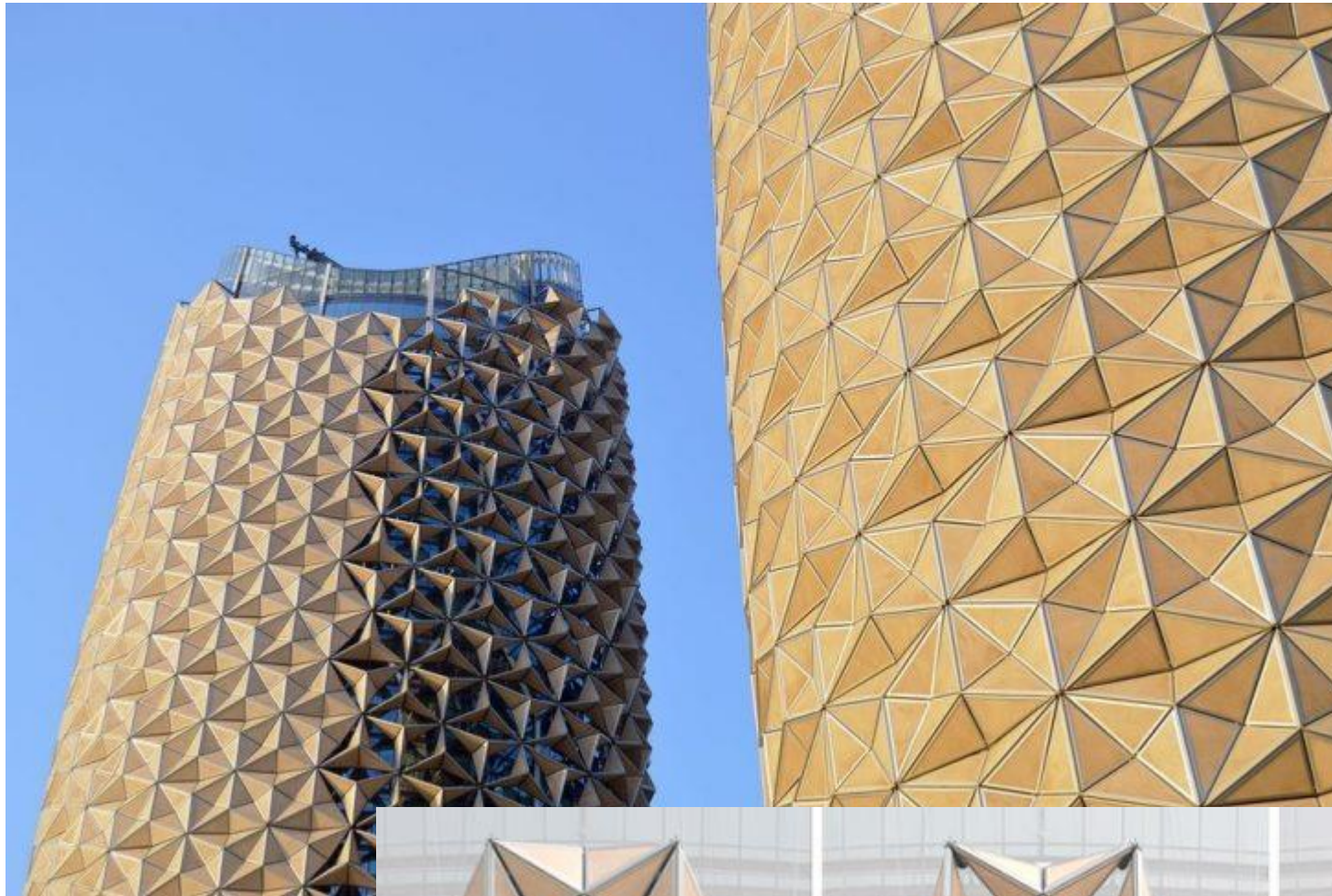
OPENS!



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



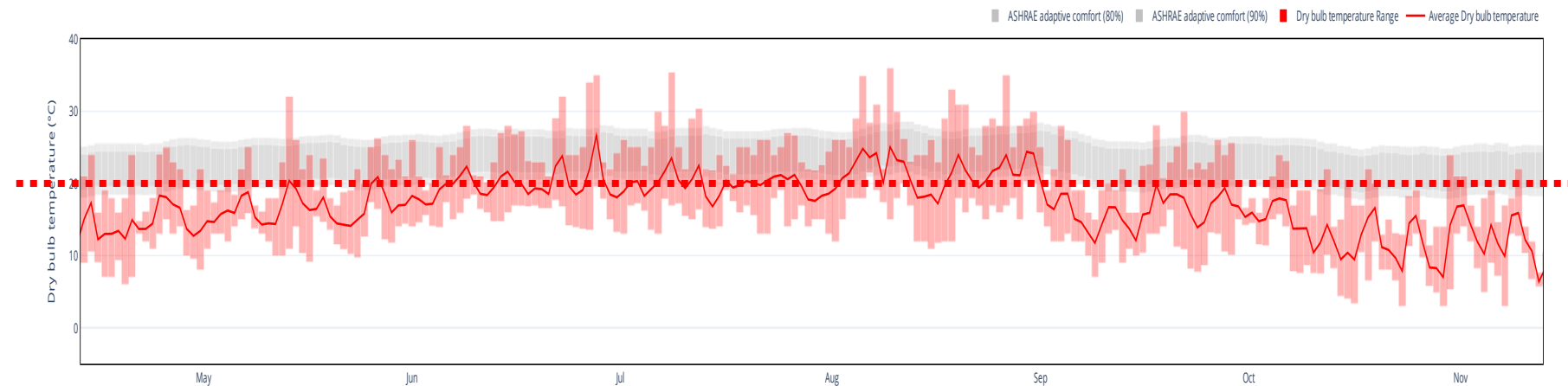
Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Enfriamiento Gratuito / Nocturno

- Si $T_{\text{amb}} \sim T_{\text{int}} - 3-5^{\circ}\text{C}$
- Apertura de ventanas (Manual/Automática)
- Sobre-ventilación a través de sistemas de climatización

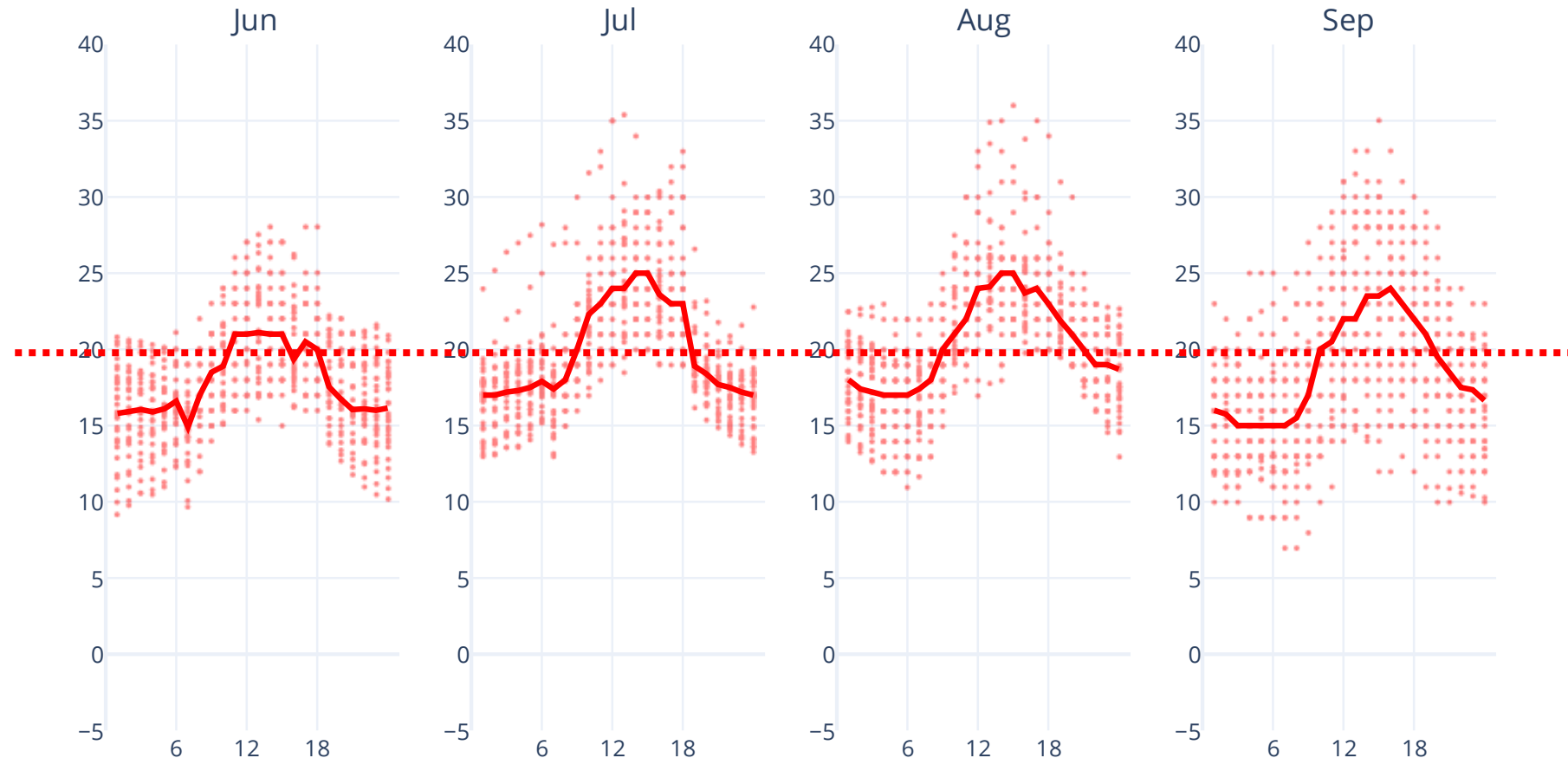


Enfriamiento Gratuito / Nocturno

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

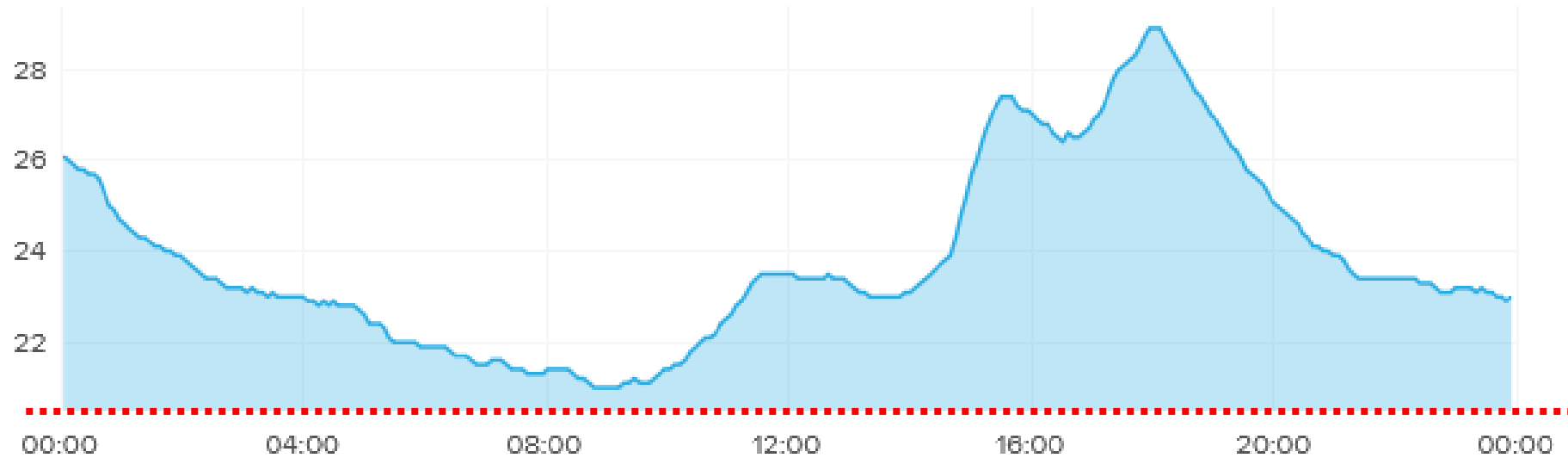
Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



Enfriamiento Gratuito / Nocturno

DÍA SEMANA MES AÑO < LUN 17 OCT 2022 >

TEMPERATURA - OUTDOOR <



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

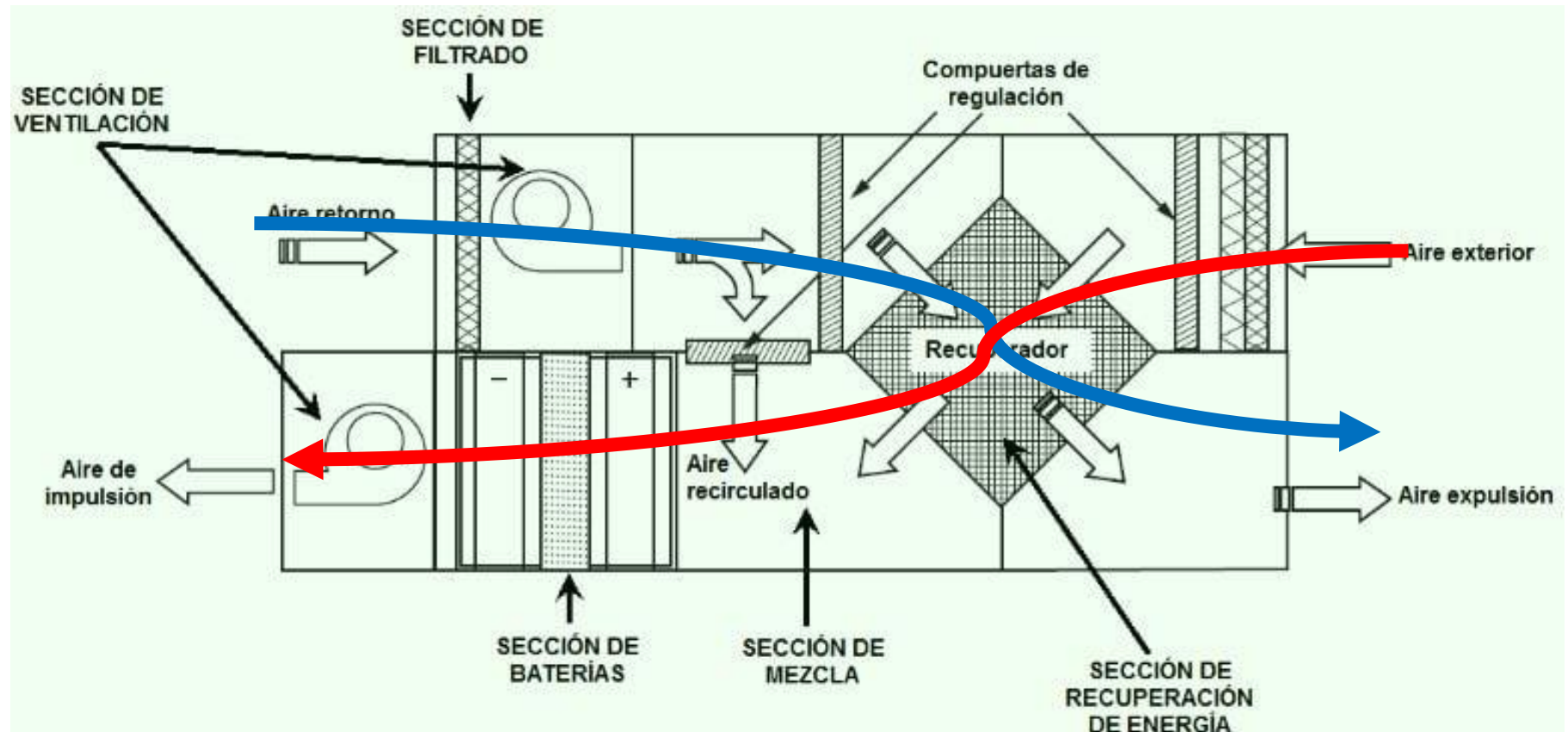
Estación meteorológica particular

Recuperación de calor

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación



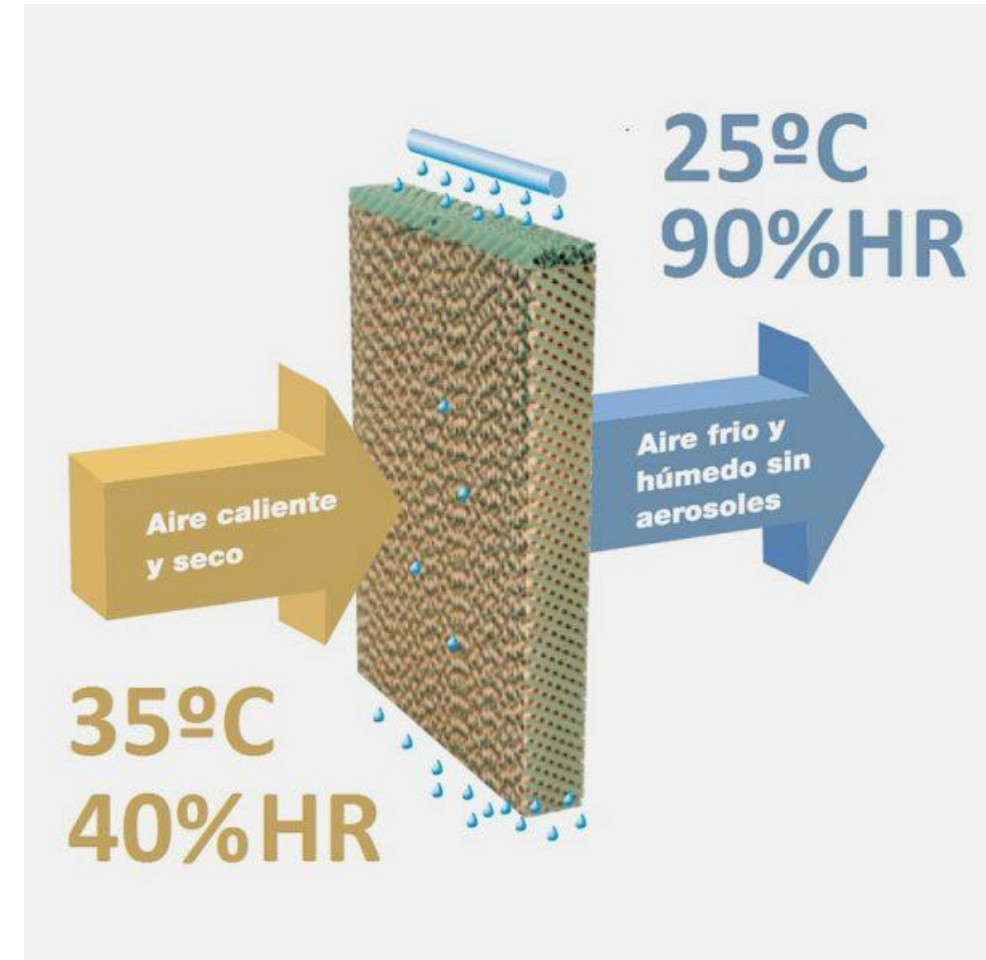
Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Enfriamiento adiabático

- Se puede reducir el calor (sensible) del aire mediante el aporte de agua líquida.
 - El agua se vaporiza
 - La energía de vaporización se sustrae del caudal de aire
 - Esto resulta en una reducción de la temperatura del aire



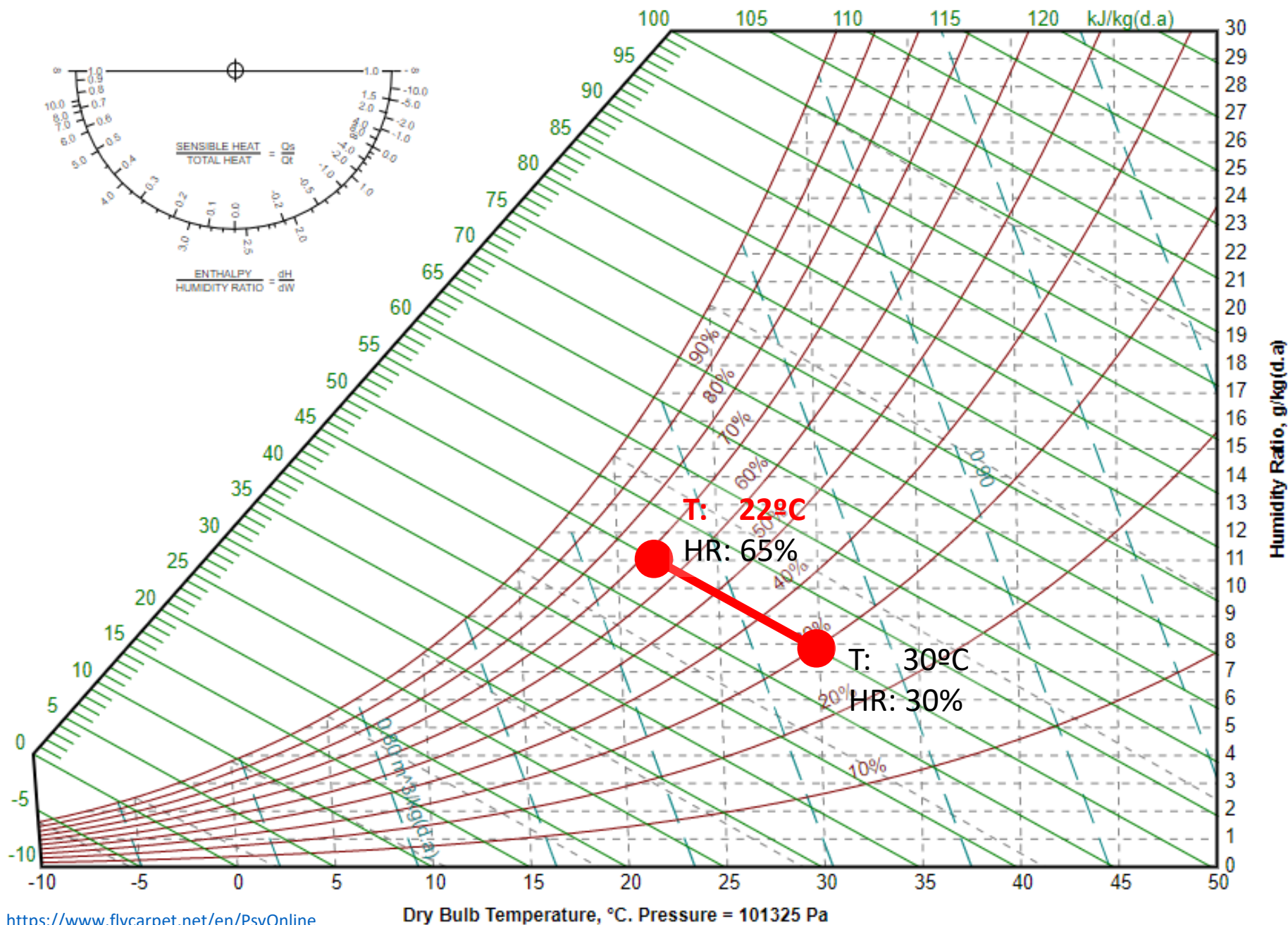
* Versión simplificada

<https://jnegre.com/producto/condensador-adiabatico/>

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

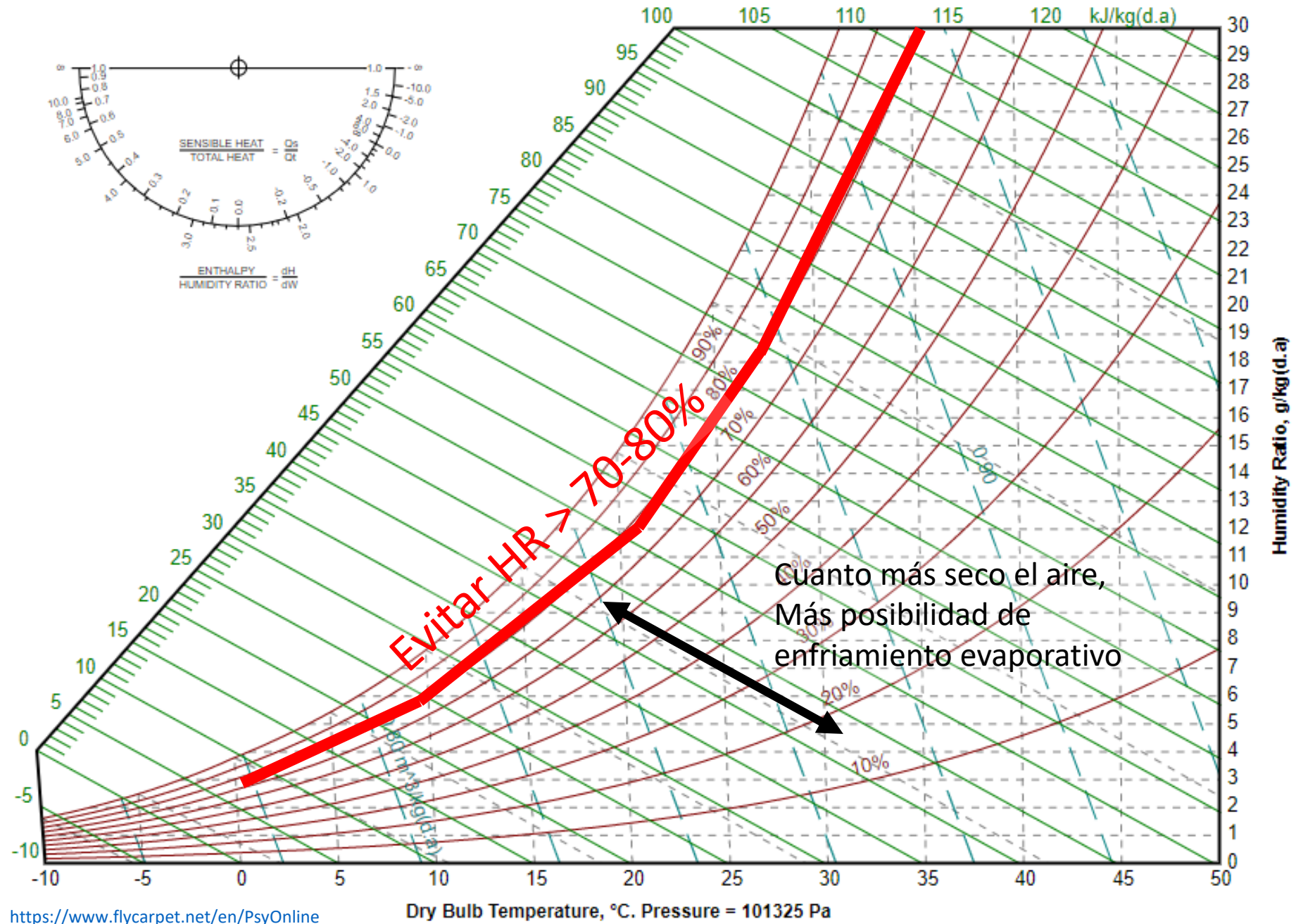
Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y método
de adaptación



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y método
de adaptación



Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Resumen

- Los seres humanos somos sensibles a las condiciones ambientales
- El estado de confort es probabilístico y depende del contexto
- El cambio climático modifica el contexto, fundamentalmente, con mayor severidad climática de verano
 - Mayor disconfort
 - Mayores costes energéticos

Dr. Roberto Garay-Martinez
DeustoTech
Facultad de Ingeniería
Universidad de Deusto
roberto.garay@deusto.es

Salud Sostenible

Factores de confort humano,
entorno edificado, impacto en
los edificios y el confort de la
evolución del clima; y métodos
de adaptación

Referencias

- [2021 Ashrae Handbook—fundamentals](#) (caps 8 & 28)
- https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort
- [ASHRAE Standard 55 2020 – Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy](#)
- Veronika Földvály Ličina, et Al., Development of the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II, Building and Environment, Volume 142, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.022>
- <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>; Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T., Hoyt, T., 2020. CBE Thermal Comfort Tool : online tool for thermal comfort calculations and visualizations. SoftwareX 12, 100563. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>
- <https://cbe-berkeley.shinyapps.io/comfortdatabase/>
- <https://clima.cbe.berkeley.edu/>