

Madrid, 1 de febrero de 2017

CAPACIDAD DE AMORTIGUACIÓN DE LA HUMEDAD INTERIOR EN EDIFICIOS

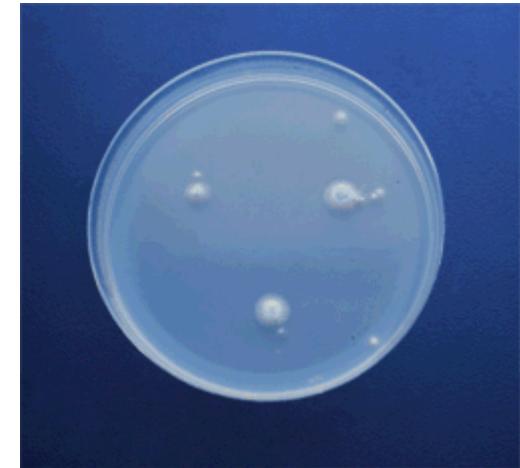


gomez.arriaran@ehu.eus

943 01 7196

Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa – Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

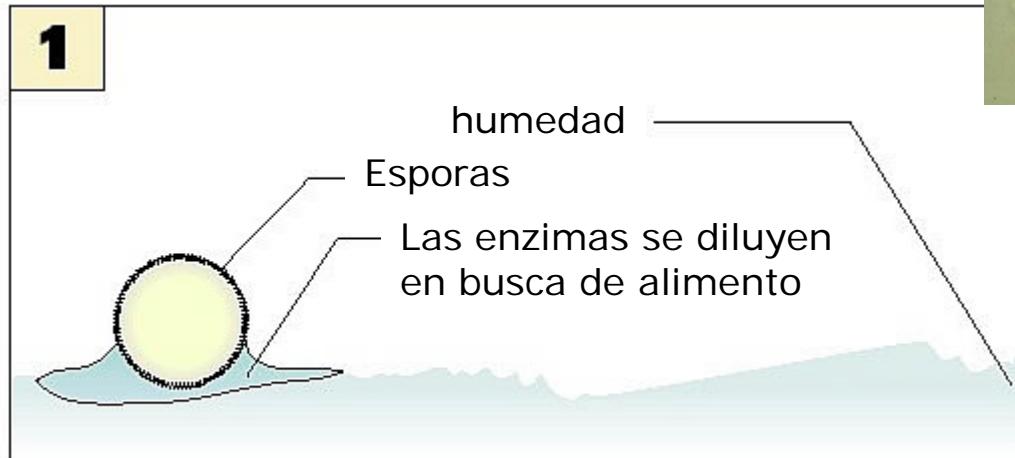
- **EL PROBLEMA**
 - Germinación/crecimiento hongos
 - Durabilidad cerramientos
 - Consumo energético
 - Confort térmico
- **LAS ISOPLLETAS**
- **LOS FACTORES**
- **LA SOLUCION PASIVA**
- **LA PREDICCIÓN**



Humedad en los edificios: Impacto salubridad

germinación y crecimiento de mohos

- Esporas de hongos,
- Oxígeno
- Temperatura propicia (10-30 ° C)
- Sustrato nutriente (aire interior)
- **AGUA**



germinación y crecimiento de mohos

2

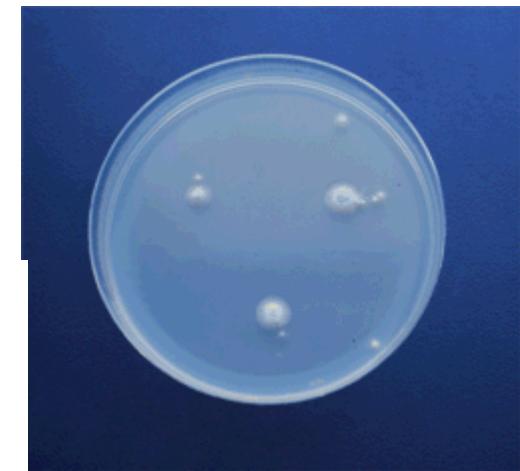
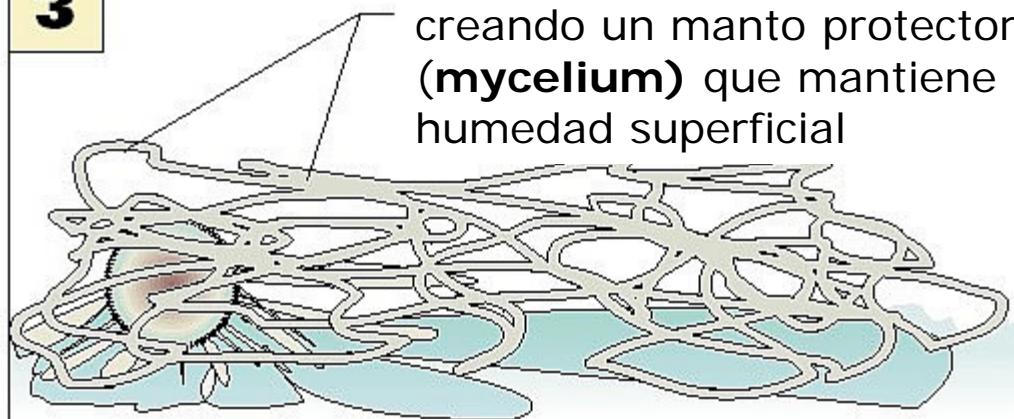
Esporas germinan produciendo filamentos (**hyphae**)

Los hyphae se extienden aumentando área absorbiva



3

Los hyphae crecen rápidamente creando un manto protector (**mycelium**) que mantiene la humedad superficial

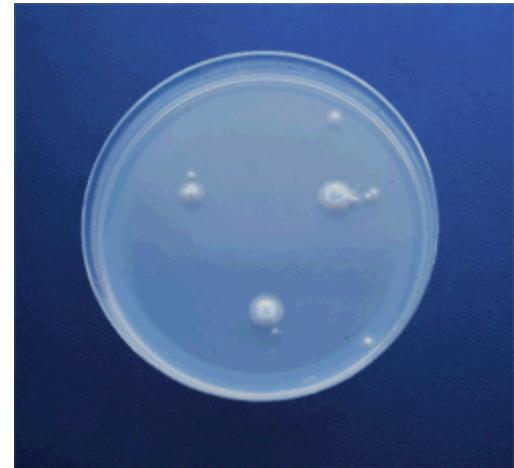


Germinación esporas

germinación y crecimiento de mohos

4

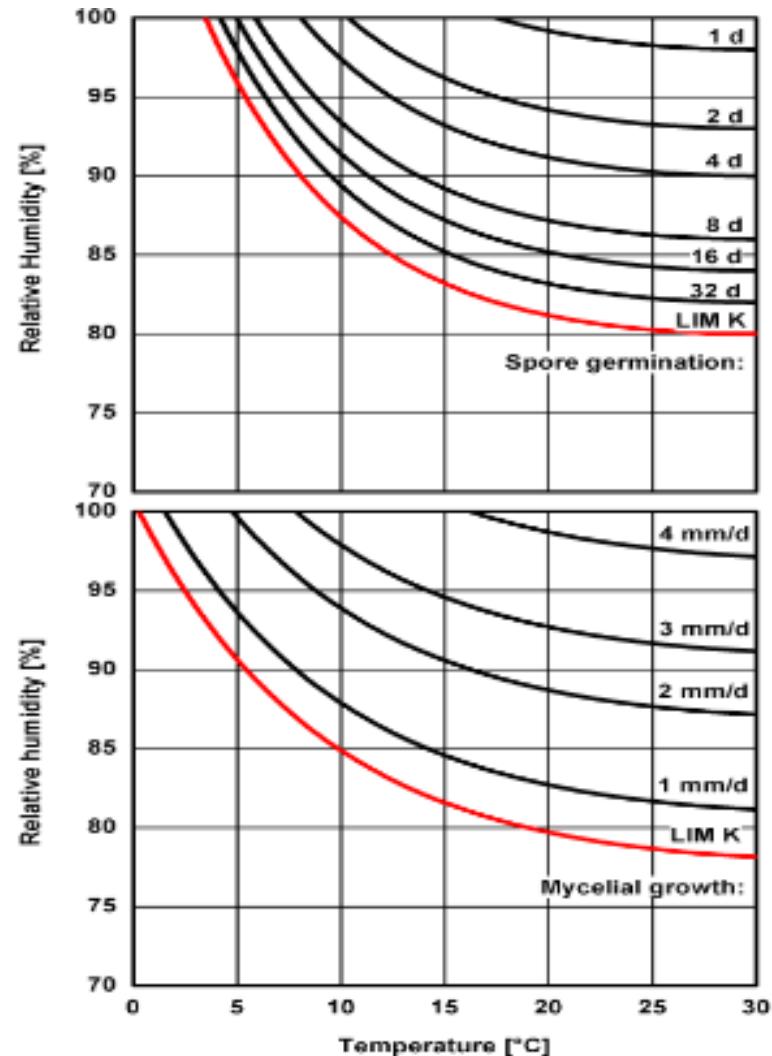
Los mohos desarrollan conidia, que genera y libera nuevas esporas al aire



Germinación esporas

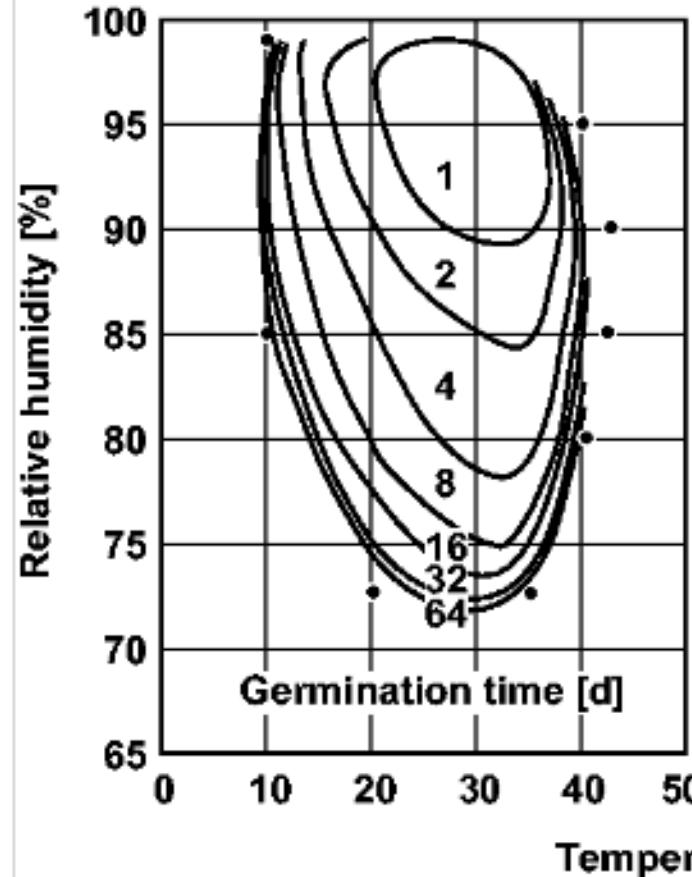


- EL PROBLEMA
- LAS ISOPLETAS
 - Caracterización del riesgo

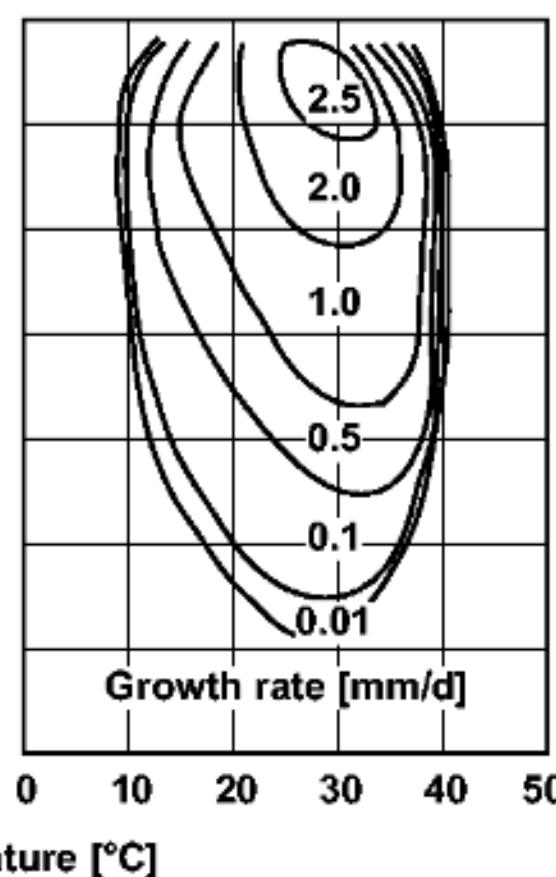


ISOPLETAS: representación de las condiciones de humedad y temperatura para la germinación de esporas y el crecimiento del micelio

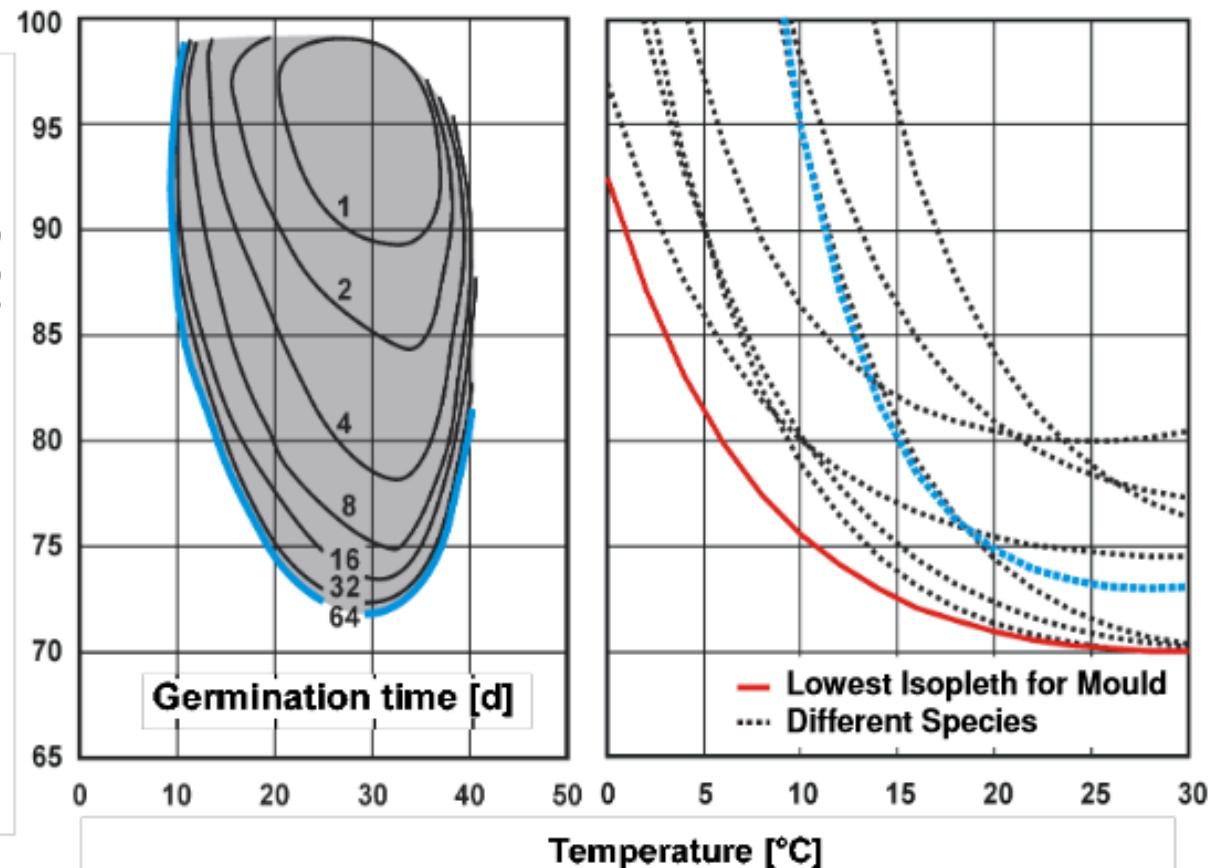
Germinación esporas



Crecimiento micelio

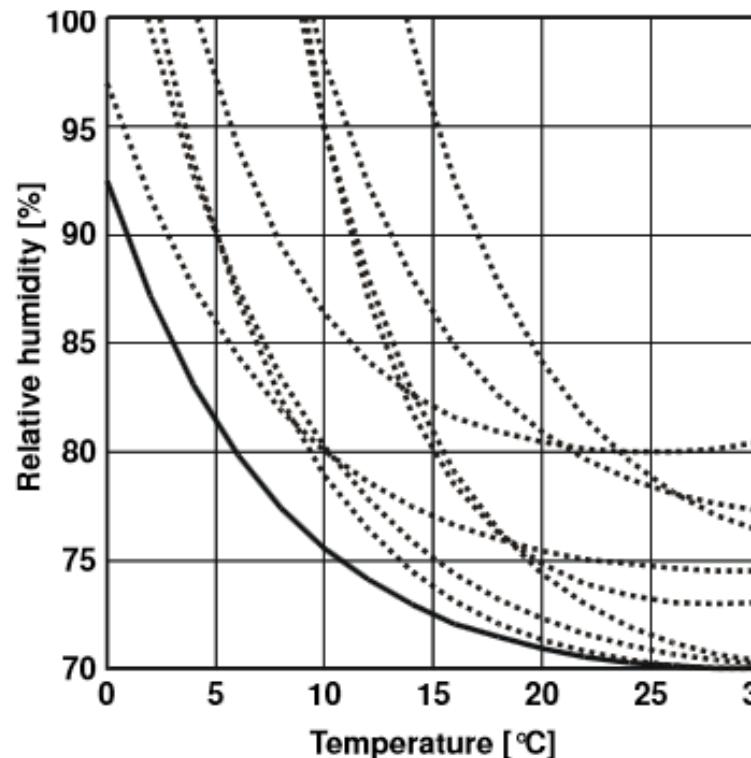


LIM: representa el límite más bajo de la combinación de todas las isopletas de todas las especies de hongos. Por debajo de estas condiciones no germina/florece ninguna especie de hongo

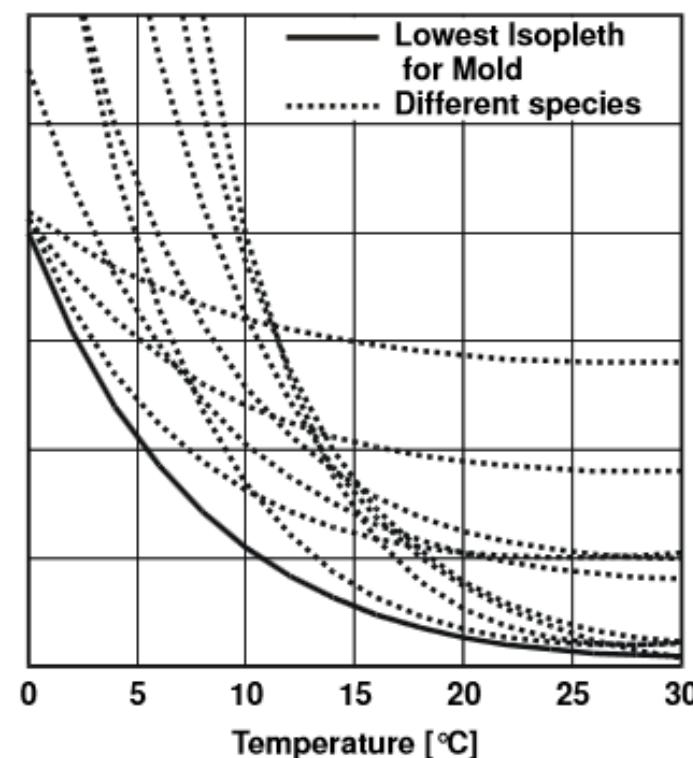


- LIM germinación de esporas > LIM crecimiento del micelio.
- Esto significa que si se produce la germinación de esporas también se producirá el crecimiento del micelio subsiguiente.

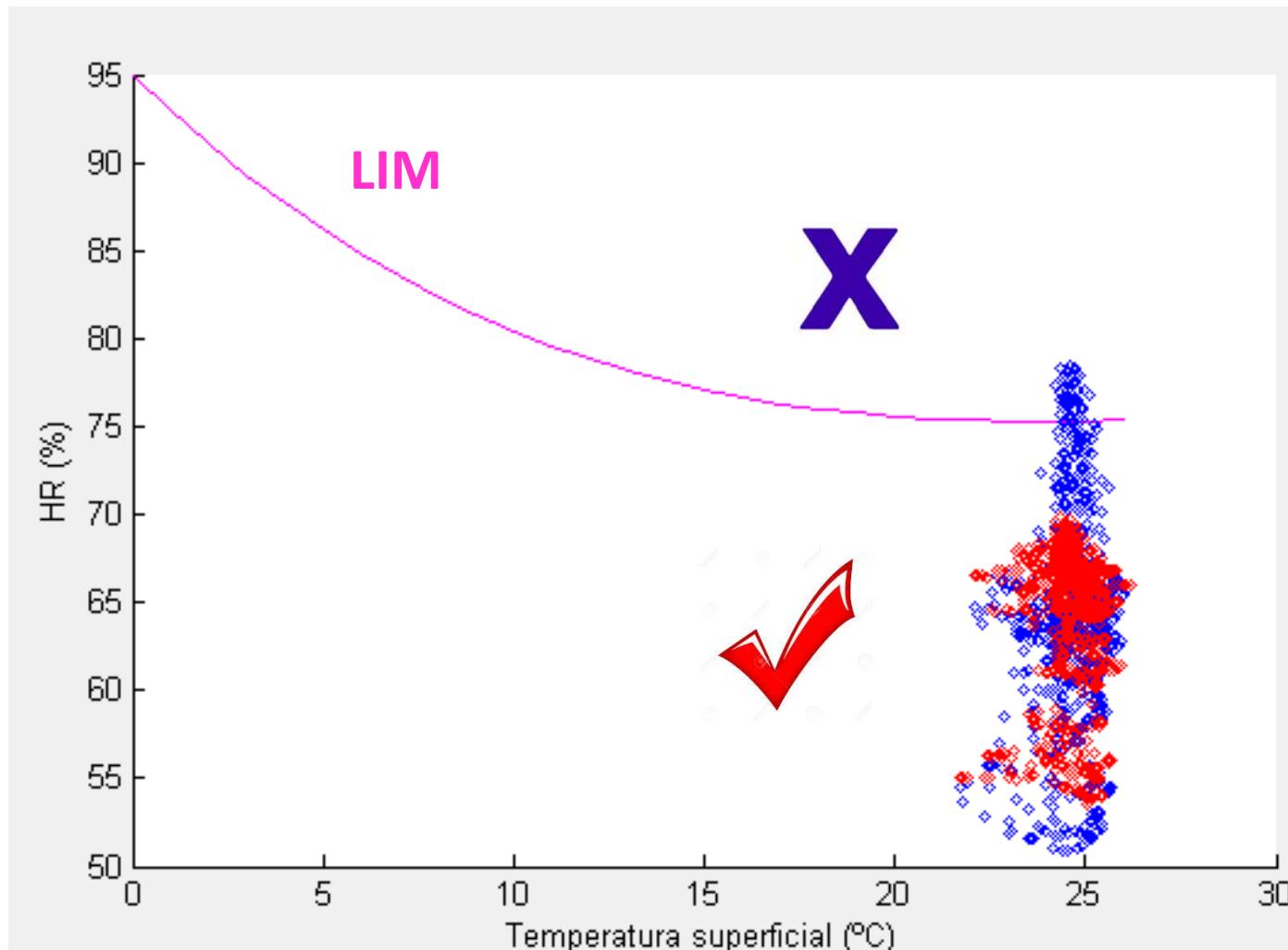
Germinación esporas



Crecimiento mycelium



Barcelona, Julio, 0.6 h^{-1} , 55 g/h, MBV=2 g/m²%



- EL PROBLEMA
- LAS ISOPLETAS
- LOS FACTORES
 - El balance higroscópico



FACTORES QUE DETERMINAN LA HR interior

- El nivel de humedad interior depende de :
 1. el clima exterior
 2. la tasa de ventilación
 3. la producción de humedad de los ocupantes
 4. la **inercia higroscópica** de los materiales que conforman la envolvente y el mobiliario.

→ Balance higroscópico del recinto

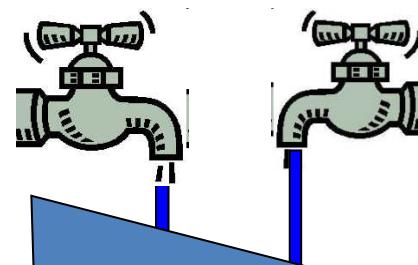
Inercia higrotérmica

- **Inercia térmica:** efecto combinado de absorber, almacenar y emitir energía térmica desde/hacia los alrededores en respuesta a los cambios en las condiciones térmicas ambientales
- **Inercia higroscópica:** efecto combinado de absorber, almacenar y emitir humedad desde/hacia los alrededores en respuesta a los cambios en las condiciones higrotérmicas ambientales

Balance higroscópico de los recintos

FUENTES DE HUMEDAD

2-Tasa de ventilación



3- Producción de vapor interior

4-INERCIA
HIGROSCÓPICA

Amortiguación de las variaciones de HR

SUMIDEROS DE HUMEDAD

2- Tasa de ventilación

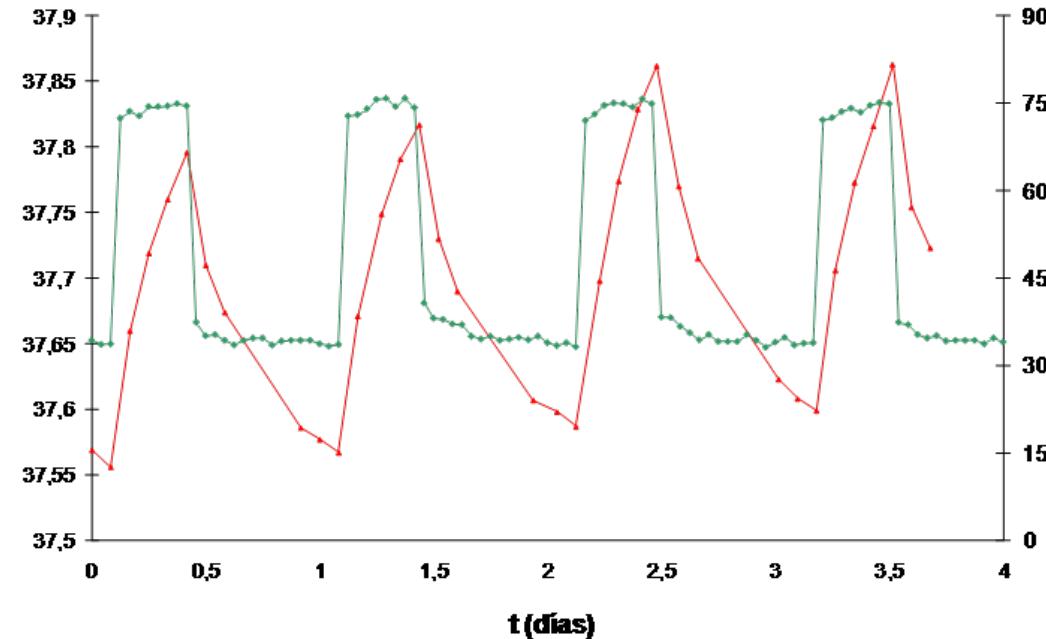
Balance higroscópico de los recintos

$$\frac{V}{R_v T_i} \cdot \frac{\partial P_{vi}}{\partial t} = \frac{nV}{3600 R_v T_i} \cdot (P_{ve} - P_{vi}) + \dot{G}_v + \sum_{j=1}^k A_{sj} \cdot g_{mbj}$$

Producción de vapor
Renovaciones de aire
Termino transitorio (régimen dinámico)

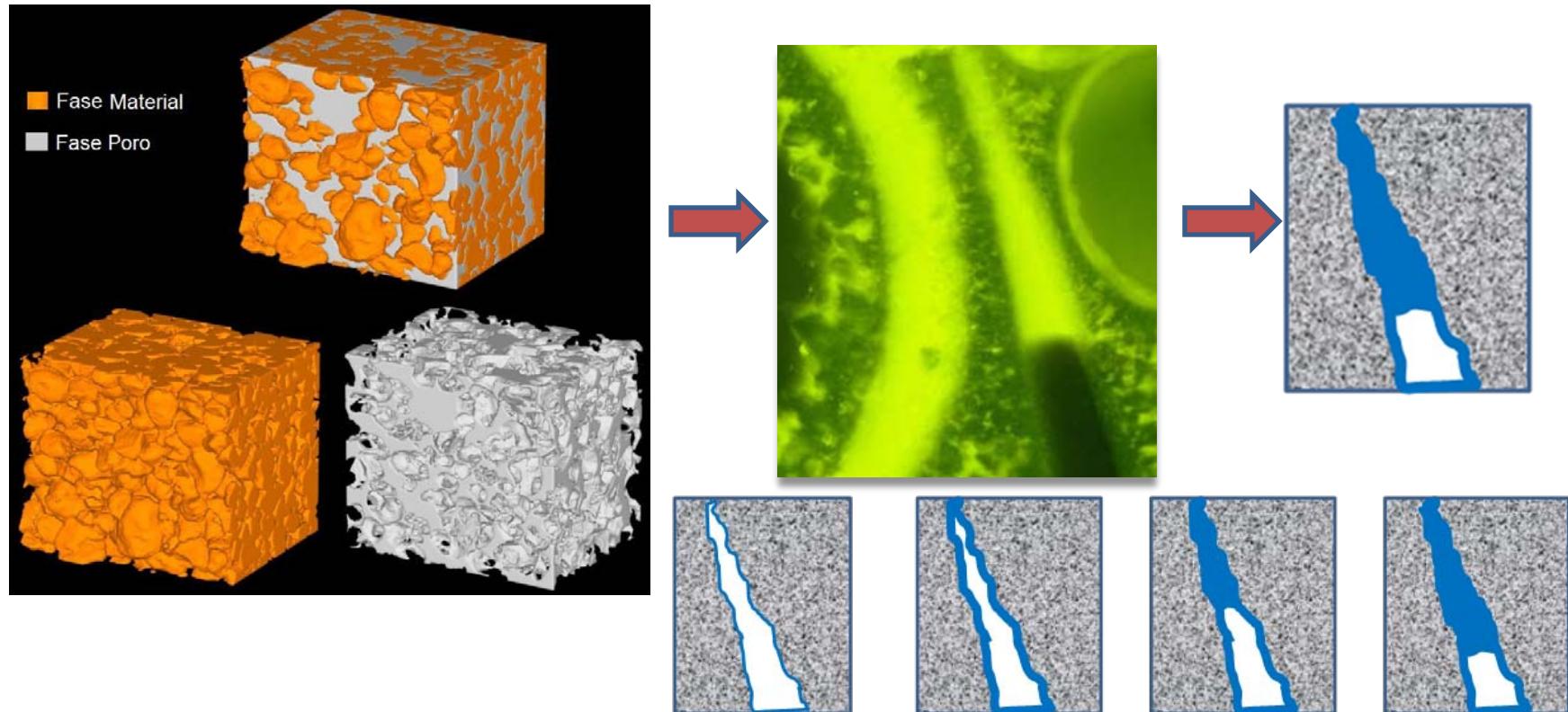
Capacidad de amortiguamiento de humedad

- EL PROBLEMA
- LAS ISOPLETAS
- LOS FACTORES
- LA SOLUCION PASIVA
 - El Moisture Buffering



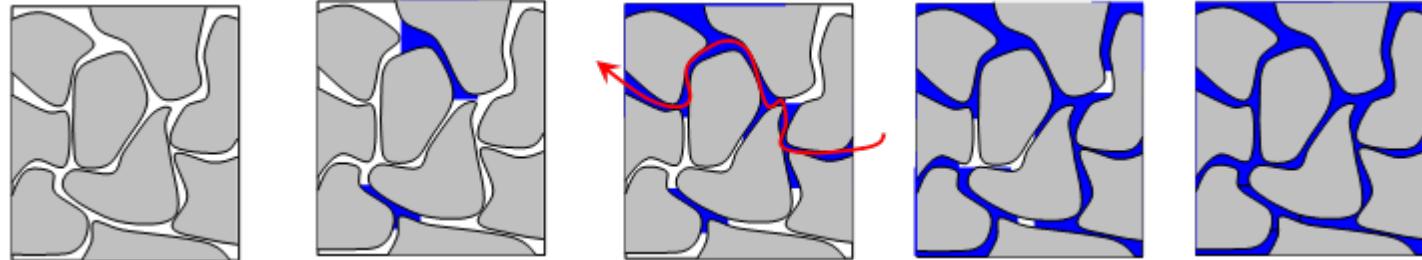
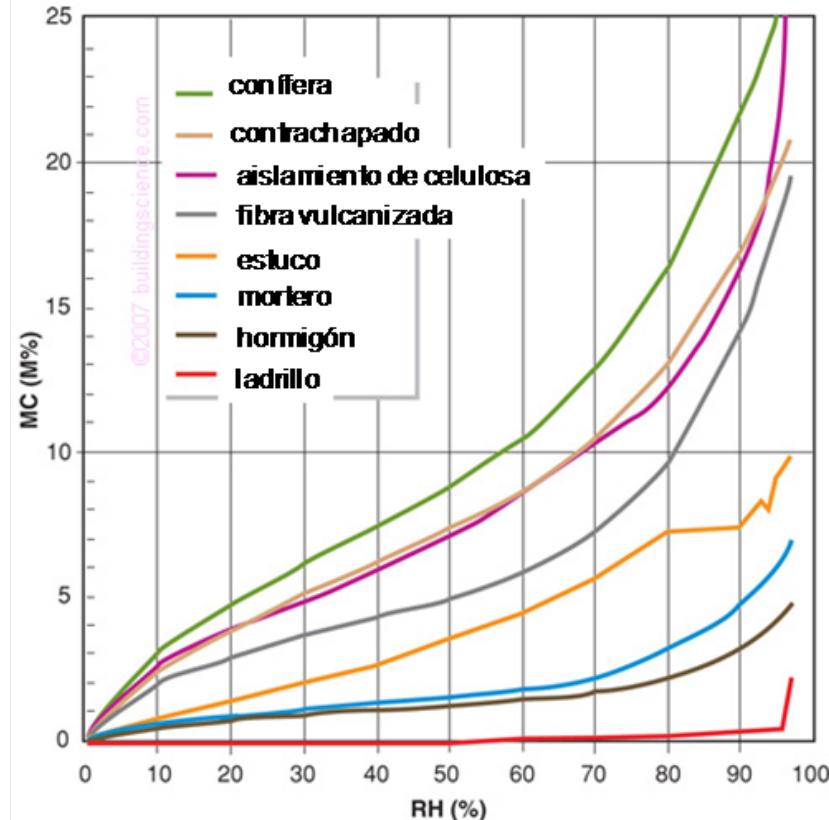
Capacidad de amortiguamiento de humedad (MBV)

- Los materiales de construcción son porosos, y por lo tanto presentan capacidad de almacenar/transportar humedad



La **capacidad de almacenamiento de humedad**: $w(\phi)$

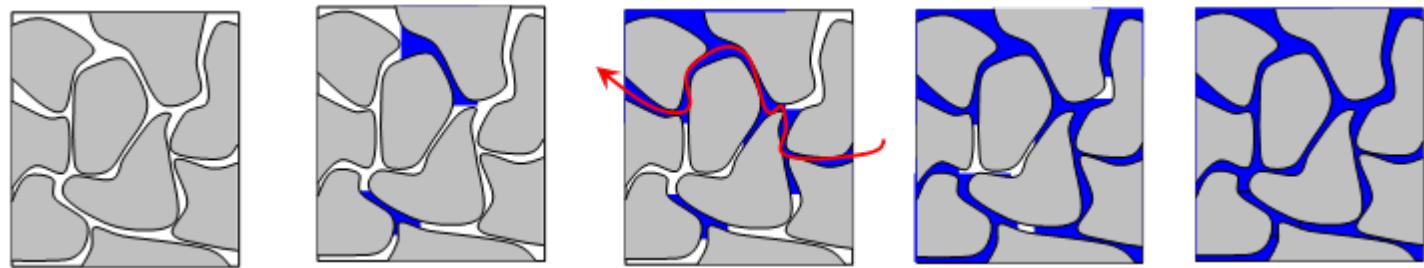
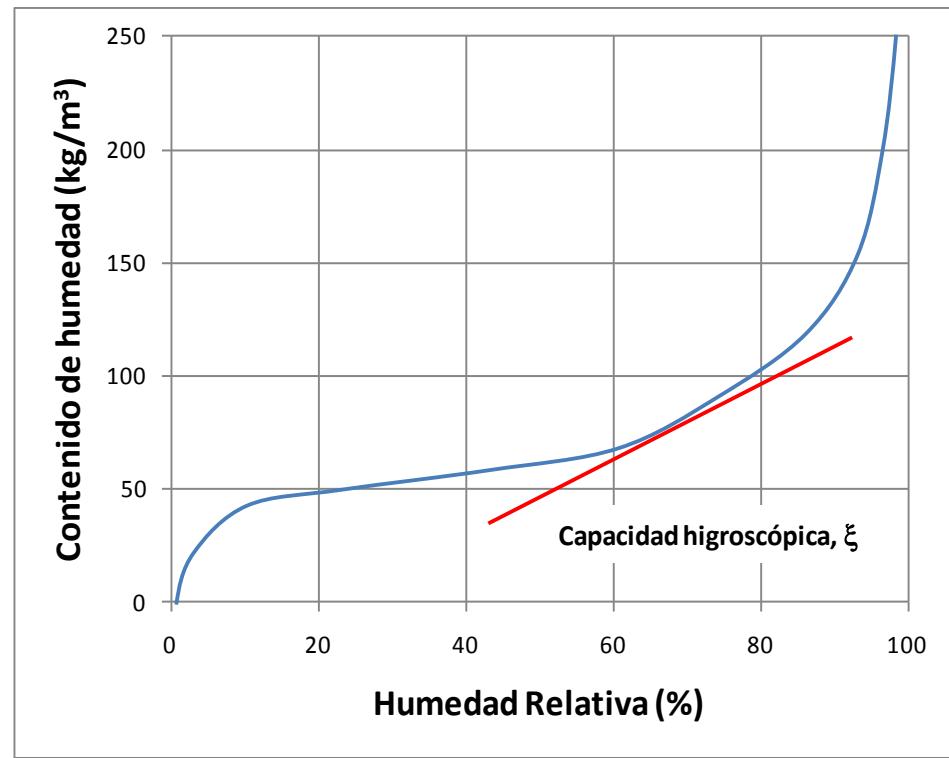
- se refleja mediante **la isoterma de sorción** y la curva de retención de agua
- depende de la **estructura porosa** (tamaño y distribución de poros).



- La capacidad de humedad:

$$\xi = \frac{\partial w(\phi)}{\partial \phi}$$

representa la cantidad de humedad que adsorbe/desorbe el material tras un cambio de humedad relativa del ambiente



• Mecanismos de transporte

Difusión de vapor

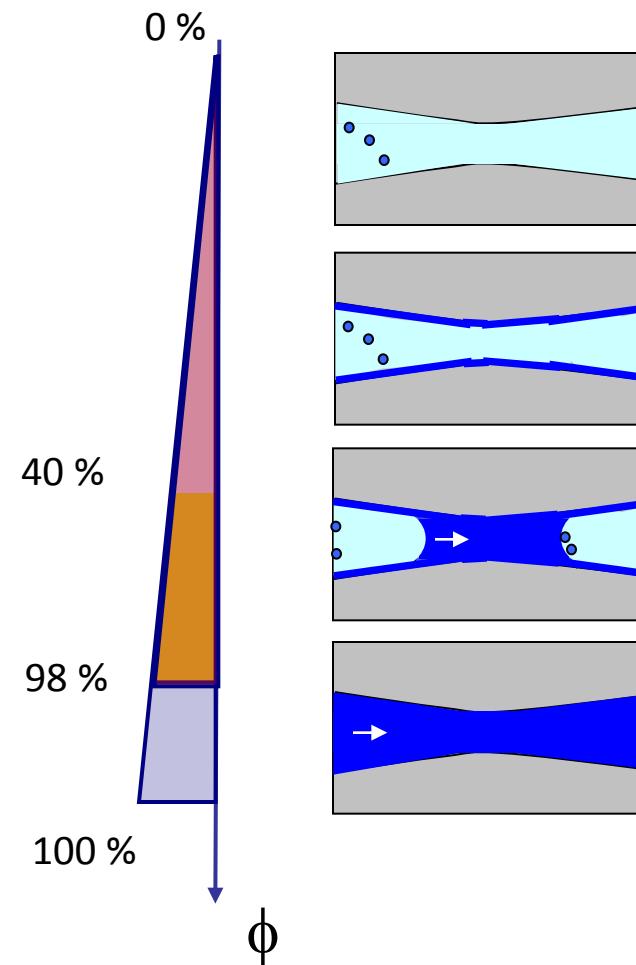
Capilaridad

~~Termodifusión~~
(proceso isotérmico)

~~Convección~~
(aire a P atmosférica)

~~Difusión superficial~~
(F.adhesión > F. inercia)

~~Gravitacional~~
(efectos gravitacionales
despreciables)



Mecanismo
microscópico Transporte
macroscópico

Difusión (efusión) VAPOR

Difusión (efusión) + VAPOR
difusión superficial

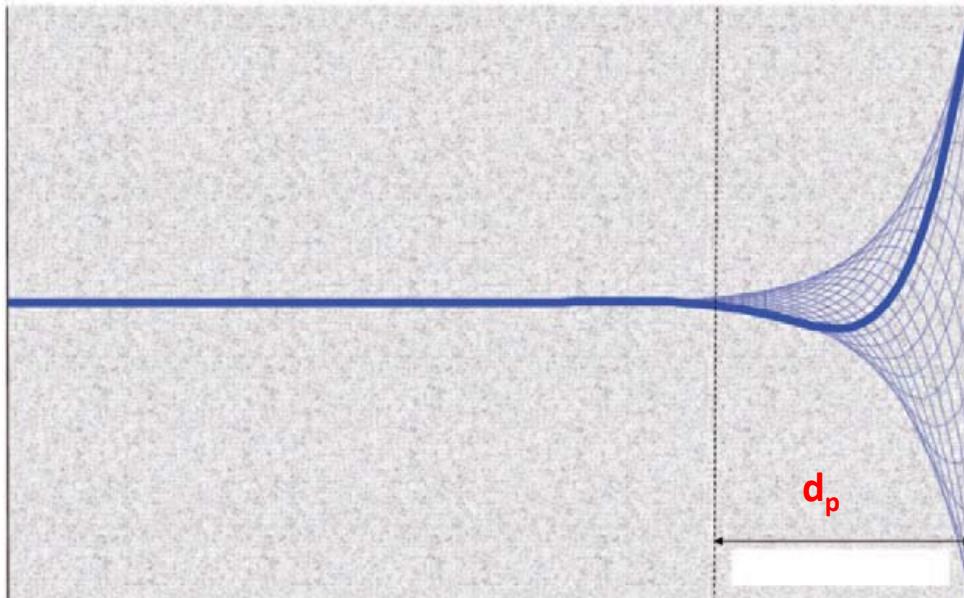
Difusión + VAPOR
condensación capilar

Capilaridad LÍQUIDO

- Interacción Almacenamiento + Transporte en régimen dinámico

- **Difusividad a la humedad,** $D_w \left[\frac{m^2}{s} \right]$
- **Efusividad a la humedad,** $b_m \left[\frac{kg}{m^2 Pa \cdot s^{1/2}} \right]$

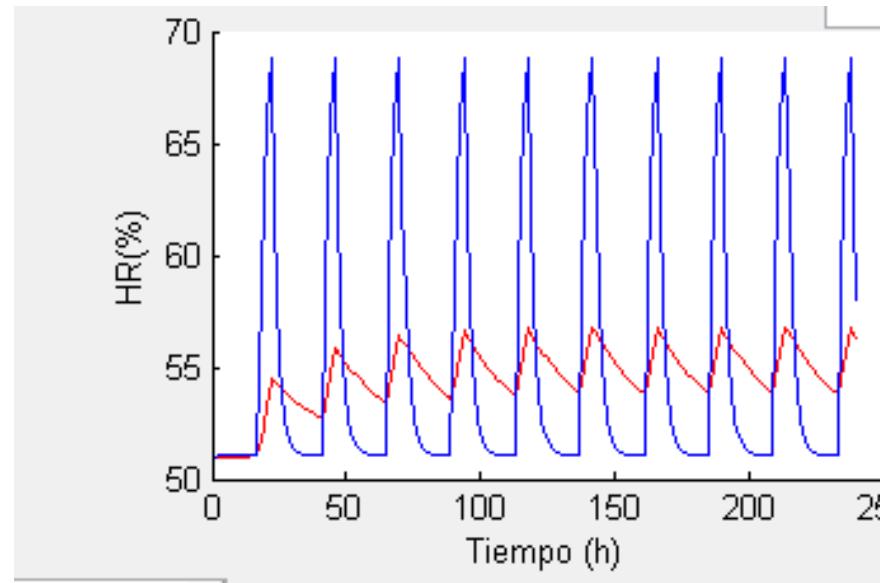
La profundidad de penetración de humedad, d_p [m]



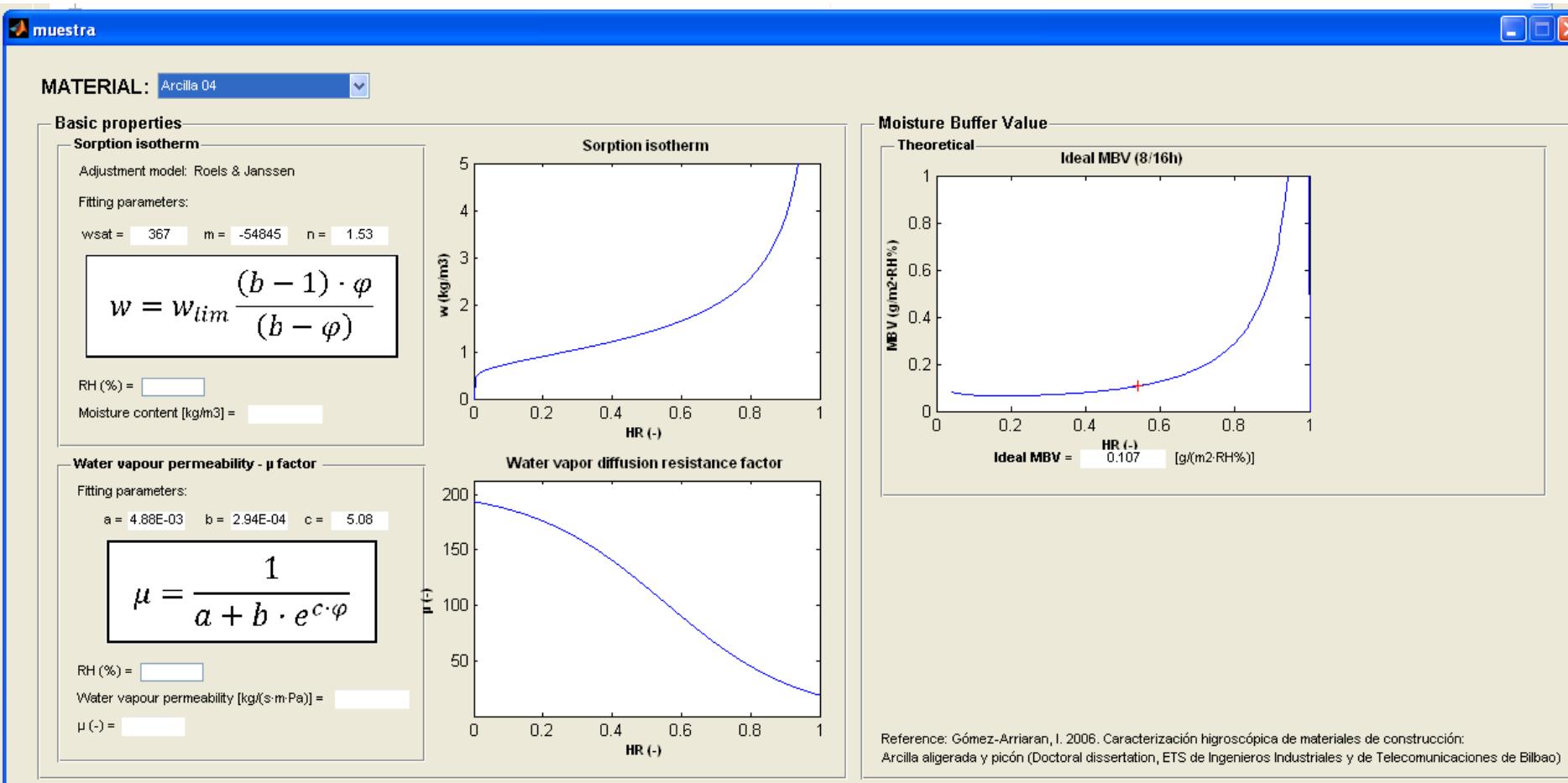
Representa el espesor de la **capa de material activa** que interactuará ante las variaciones del contenido de humedad del aire interior

Todas estas propiedades confieren una **inercia higroscópica** al material en contacto con el ambiente interior, que **permite amortiguar las oscilaciones** de HR.

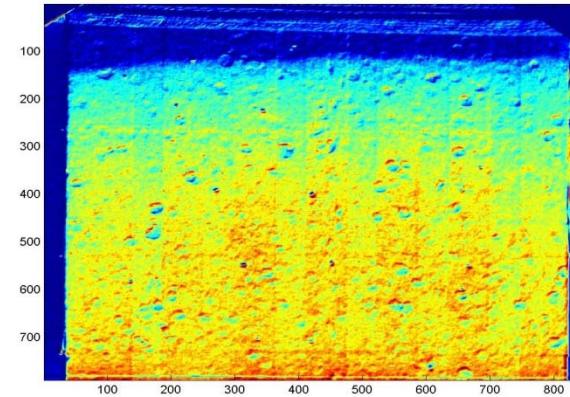
El **MBV** es la propiedad que determina el potencial de un material para **amortiguar las variaciones bruscas de humedad relativa del ambiente** al que está expuesto.



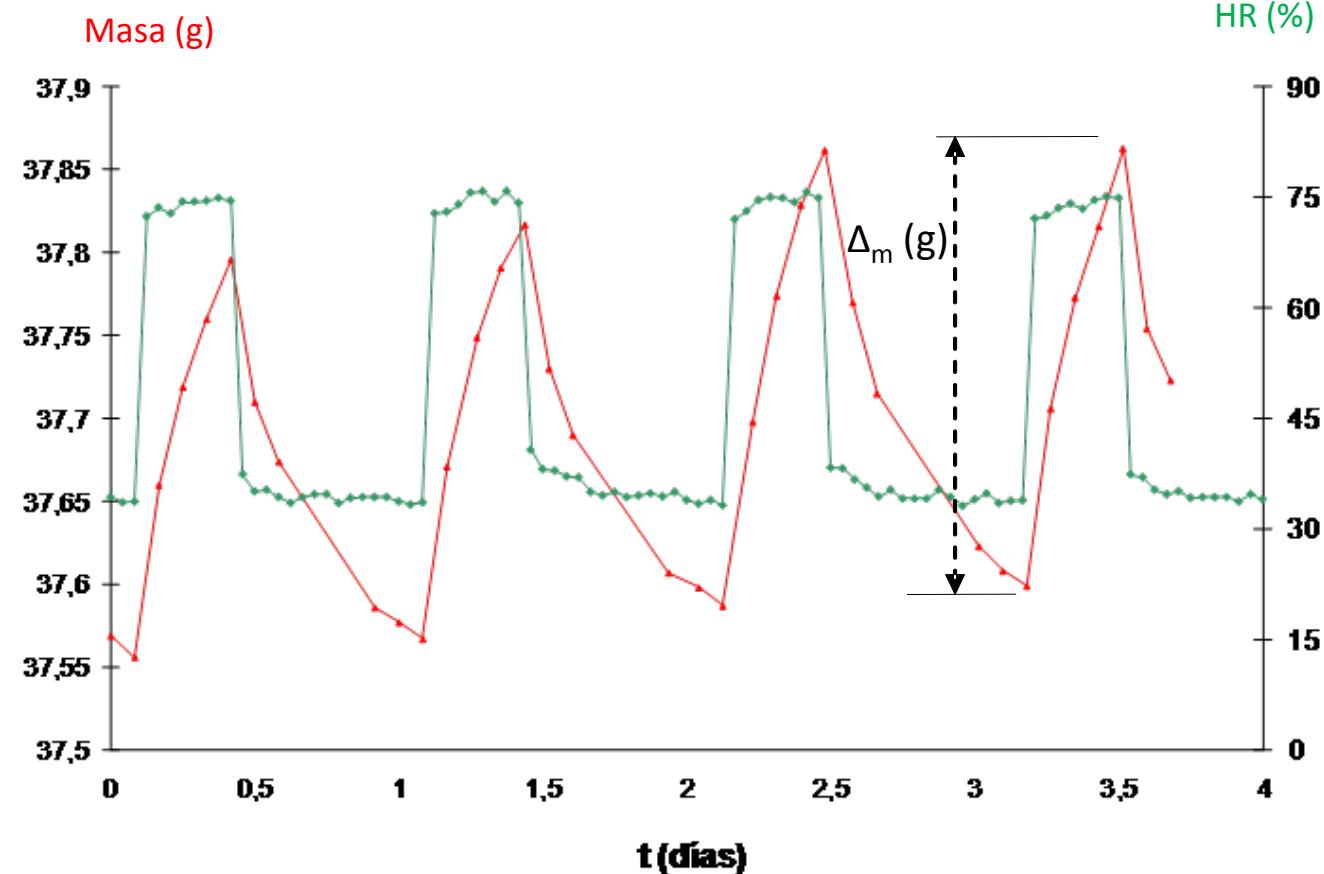
- Cálculo del MBV teórico: a partir de propiedades higroscópicas



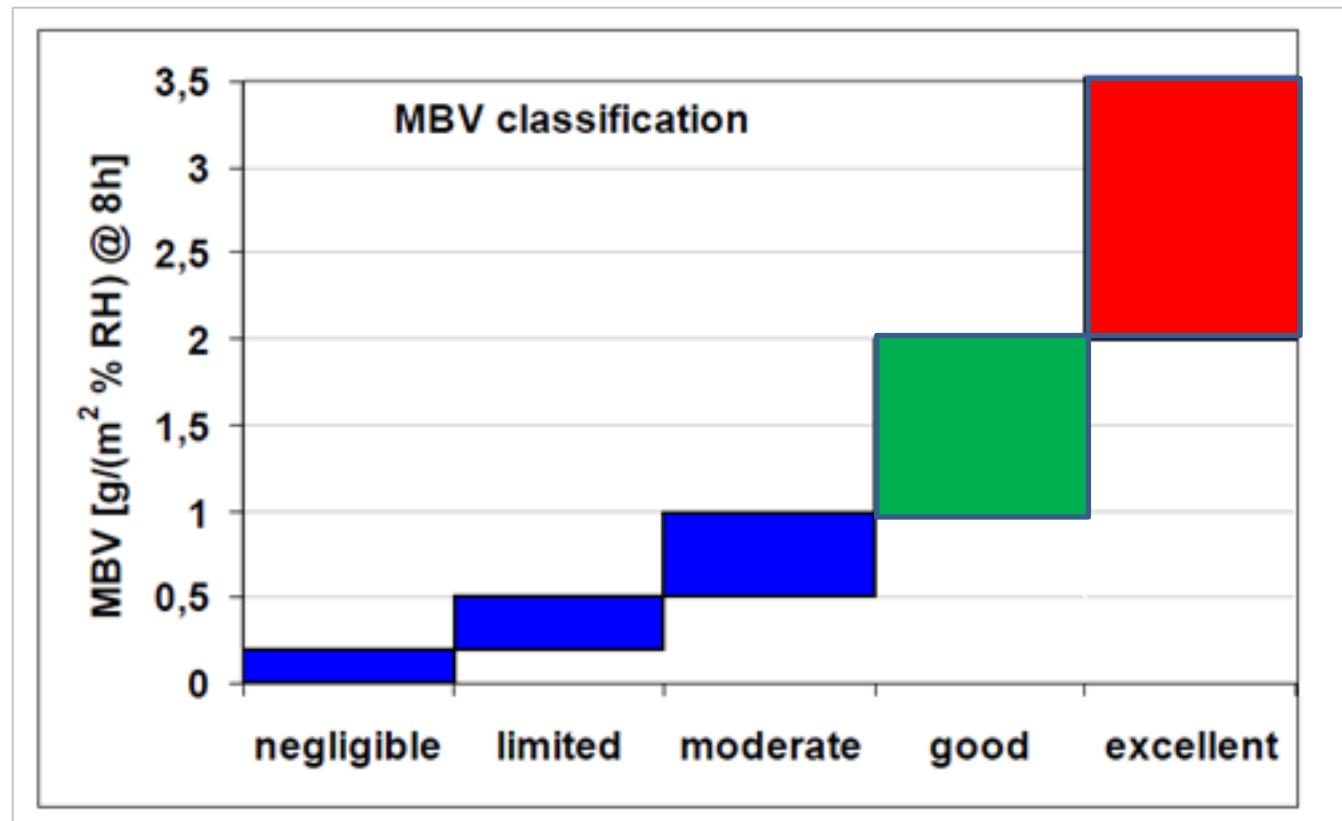
- Cálculo del MBV teórico: a partir de propiedades higroscópicas
 - Requiere caracterización higroscópica:



- Medición del MBV real:
a partir de ensayos dinámicos

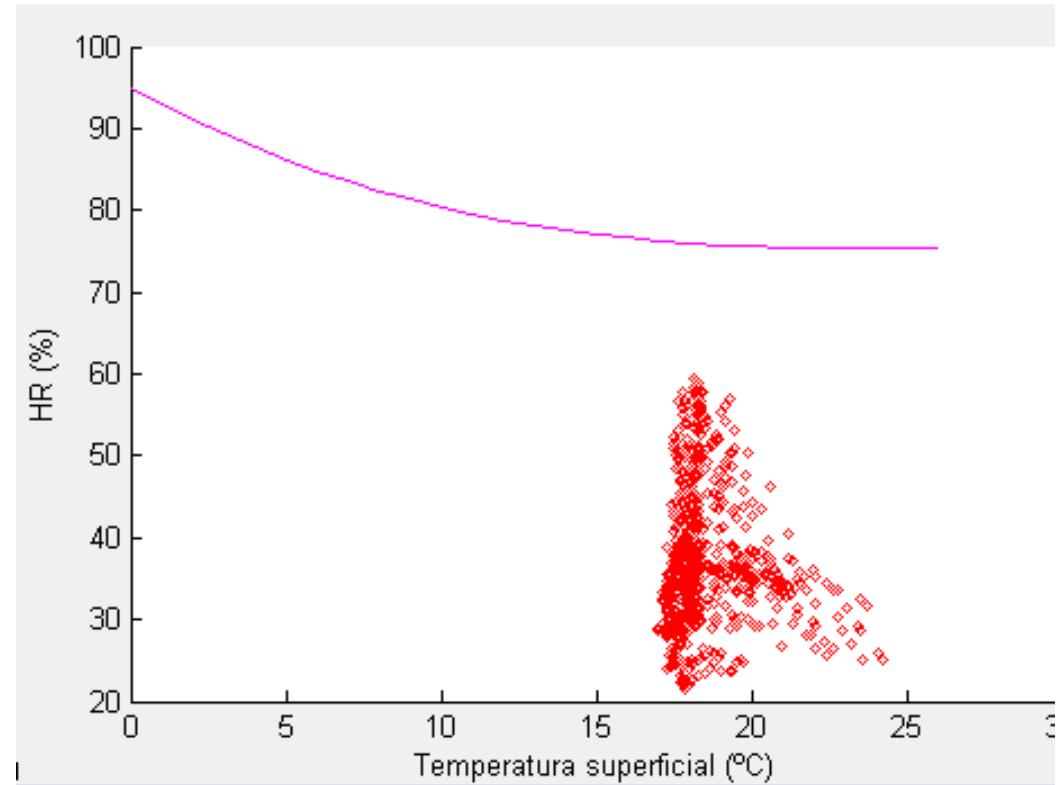


Clasificación de materiales según su potencial de amortiguamiento de humedad.

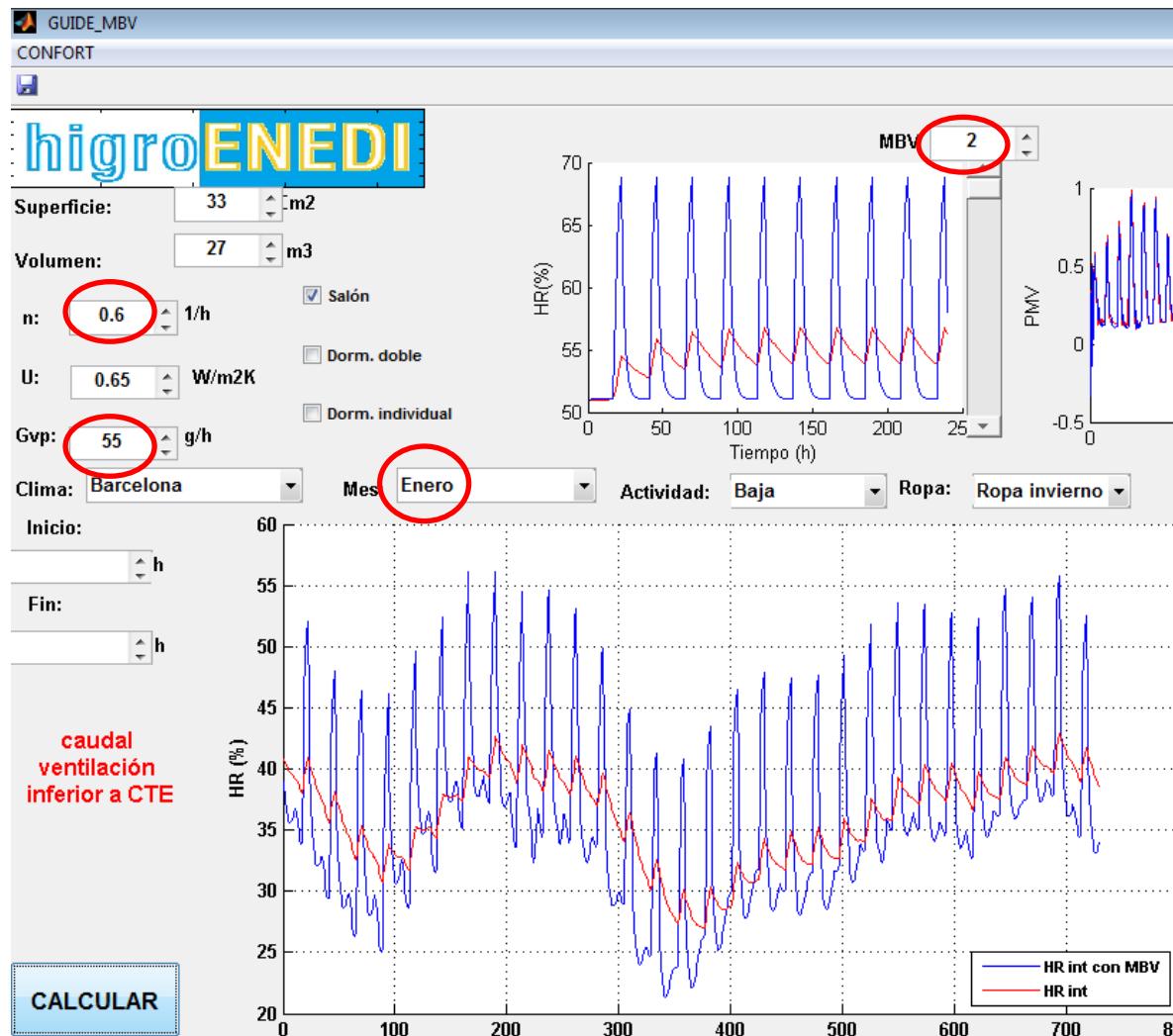


MATERIAL	ΔHR (%)	Ciclos	MBV [g/(m ² -%RH)]
Poliacrilato de sodio	33-75	8-16h	8,97
Celulosa	33-75	8-16h	3,07
Enlucido de yeso (sin pintar)	65-75	12-12h	2,7
Enlucido de cemento (sin pintar)	65-75	12-12h	1,61
Cerámica puzolánica autoclavada	33-75	8-16h	1,34
Enlucido de yeso	65-75	12-12h	1,30
Placa de yeso laminado	65-85	12-12h	1,25
Tablero de abeto	33-75	8-16h	1,16
Enlucido de yeso	65-85	12-12h	1,13
Yeso	33-75	8-16h	1,06
Hormigón celular	33-75	8-16h	1,04
Madera de abedul	33-75	8-16h	0,85
Enlucido de cemento (pintura común 1)	65-85	12-12h	0,815
Enlucido de cemento (pintura común 2)	65-85	12-12h	0,765
Hormigón de áridos ligeros estucado	33-75	8-16h	0,75
Madera contrachapada	33-75	8-16h	0,73

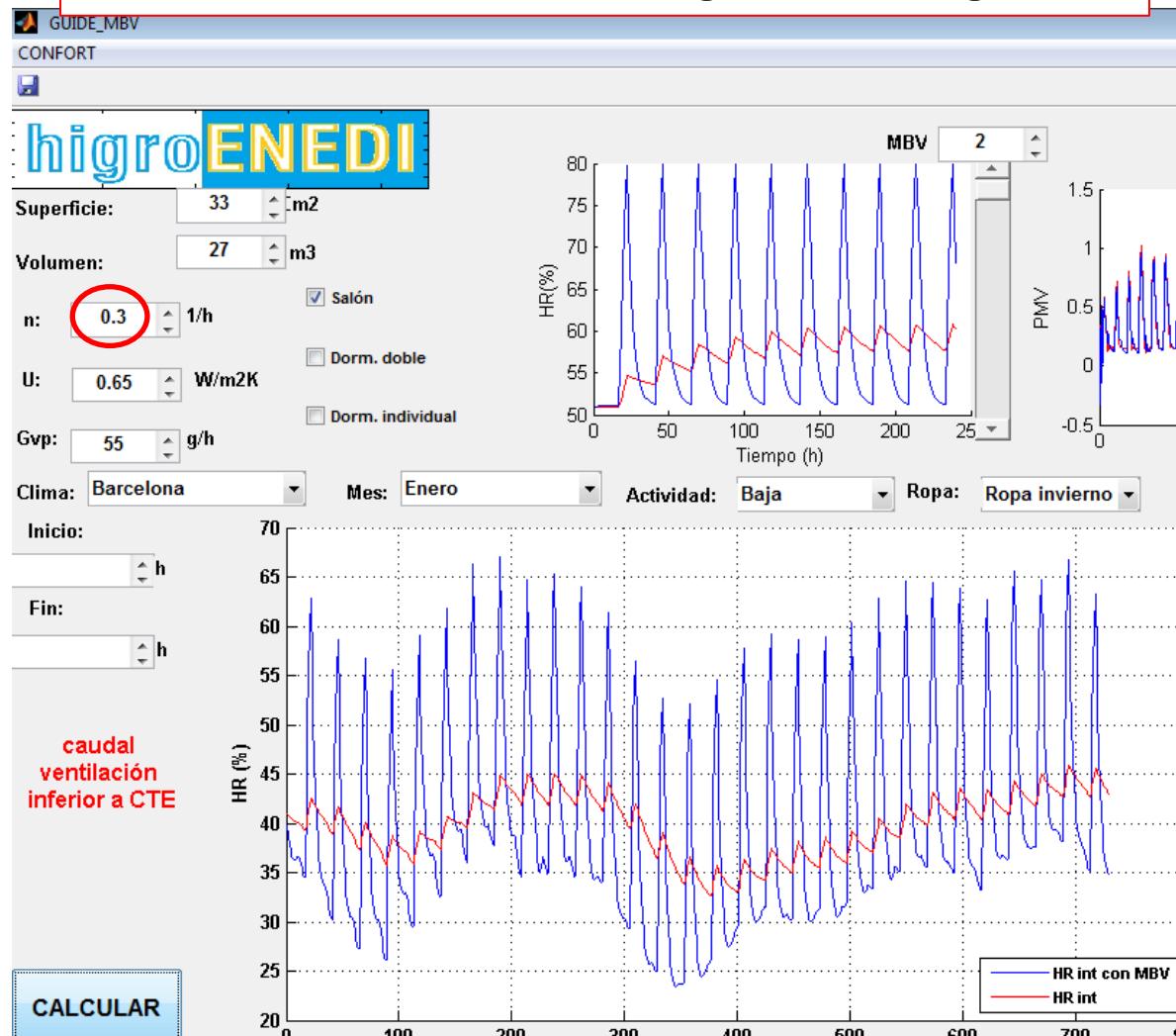
- EL PROBLEMA
- LAS ISOPLETAS
- LOS FACTORES
- LA SOLUCION PASIVA
- LA PREDICCIÓN
 - Simulaciones en régimen dinámico



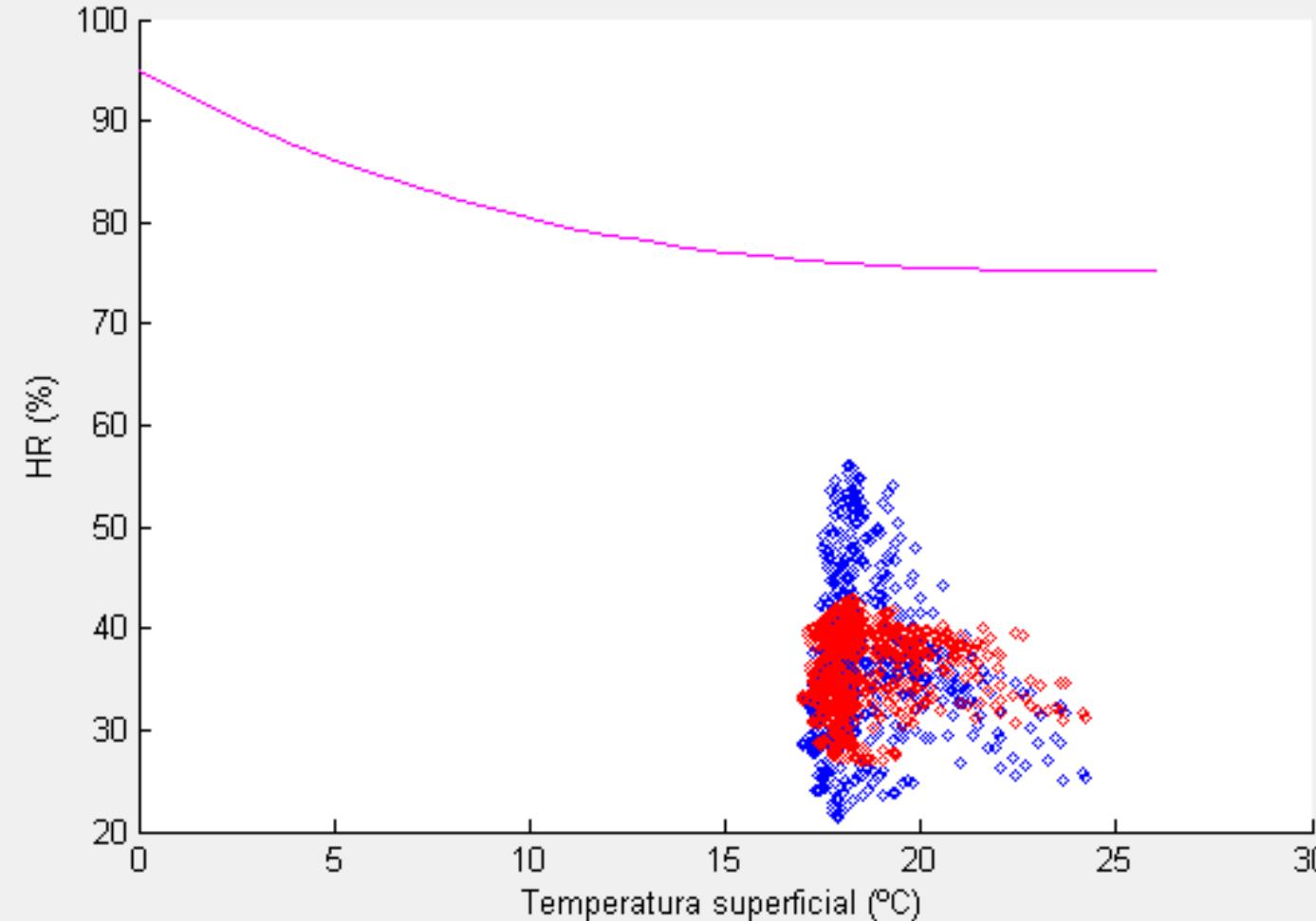
Barcelona, Enero, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



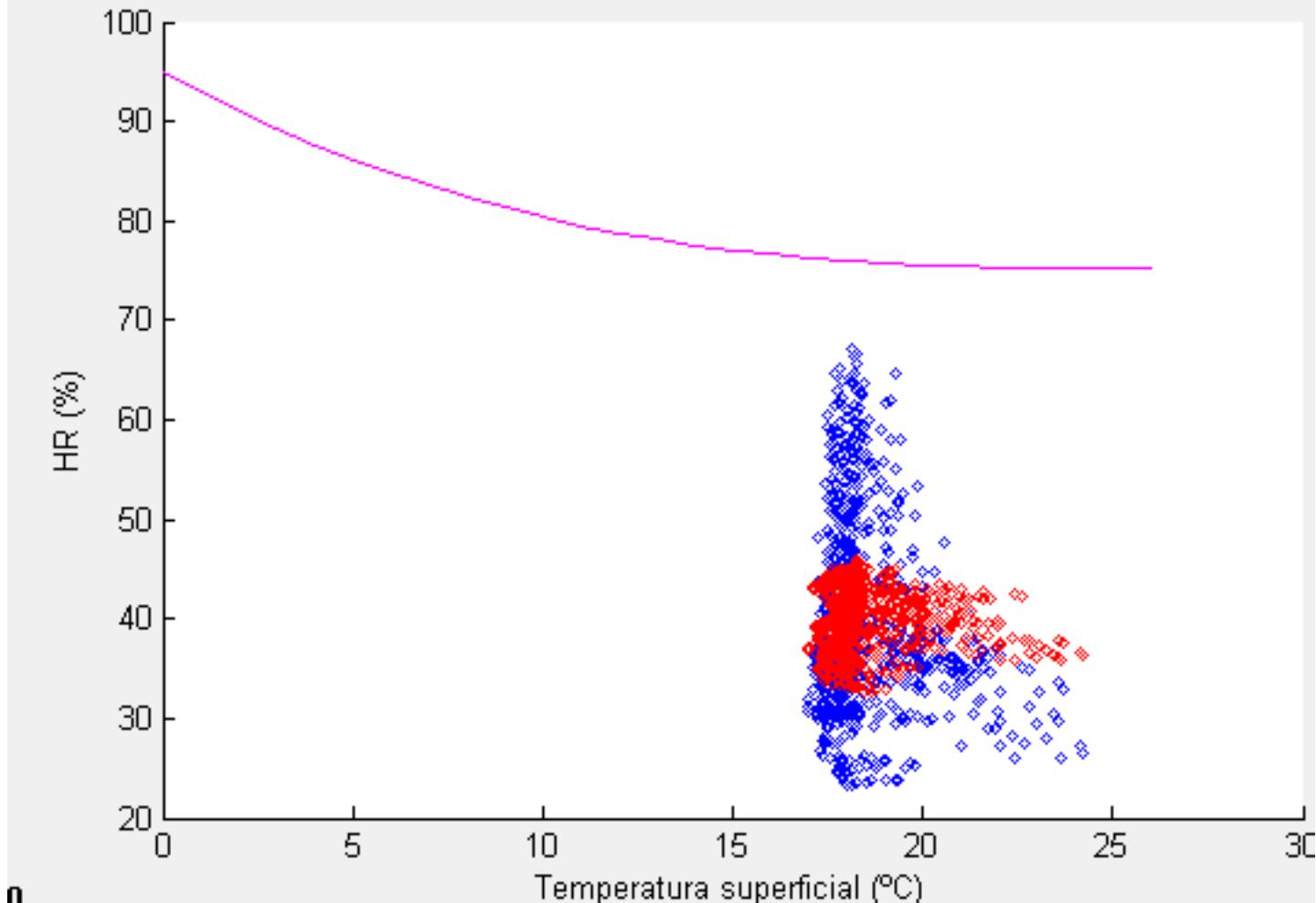
Barcelona, Enero, 0.3 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$



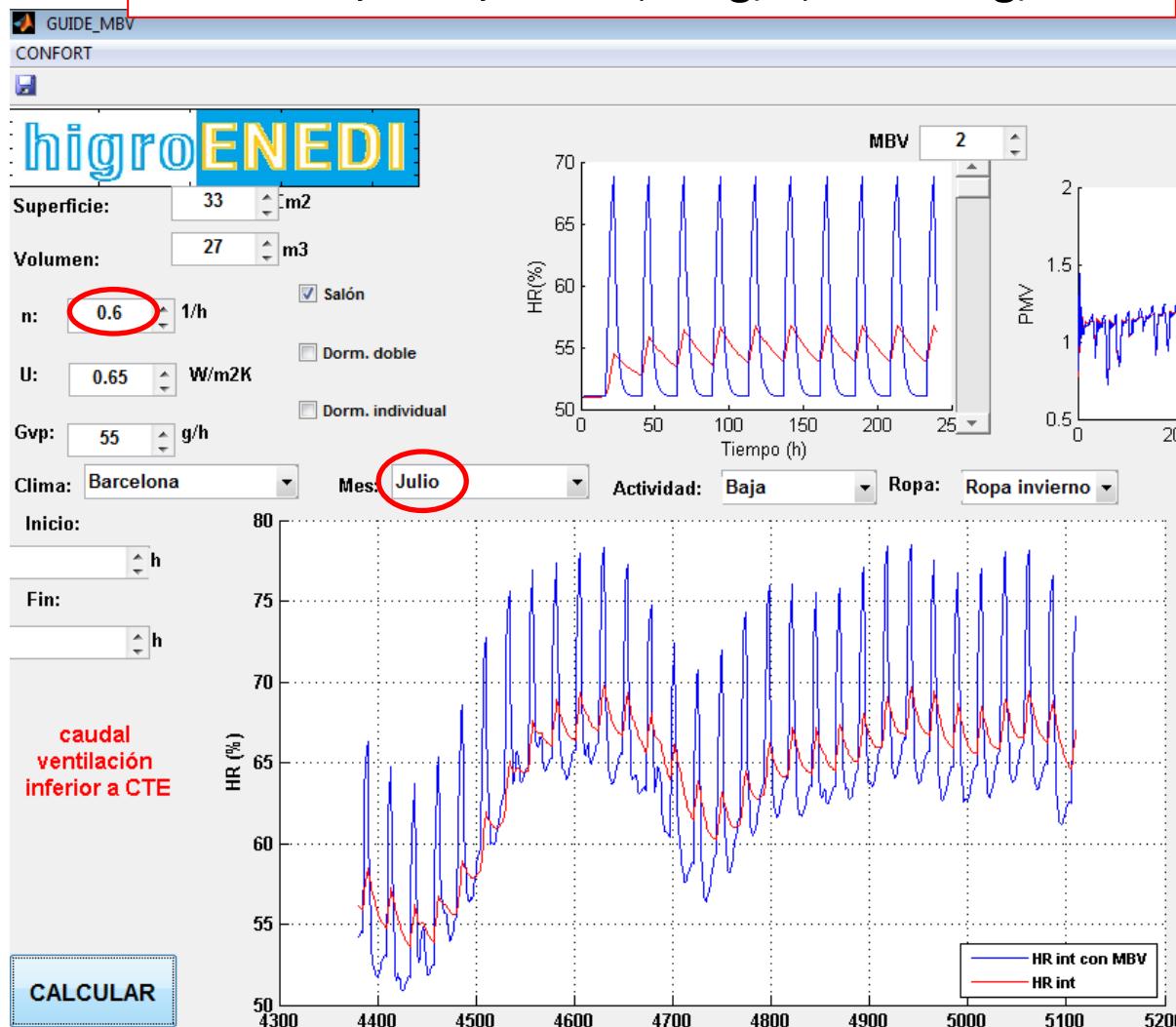
Barcelona, Enero, 0.6 h^{-1} , 55 g/h, MBV=2 g/m²%



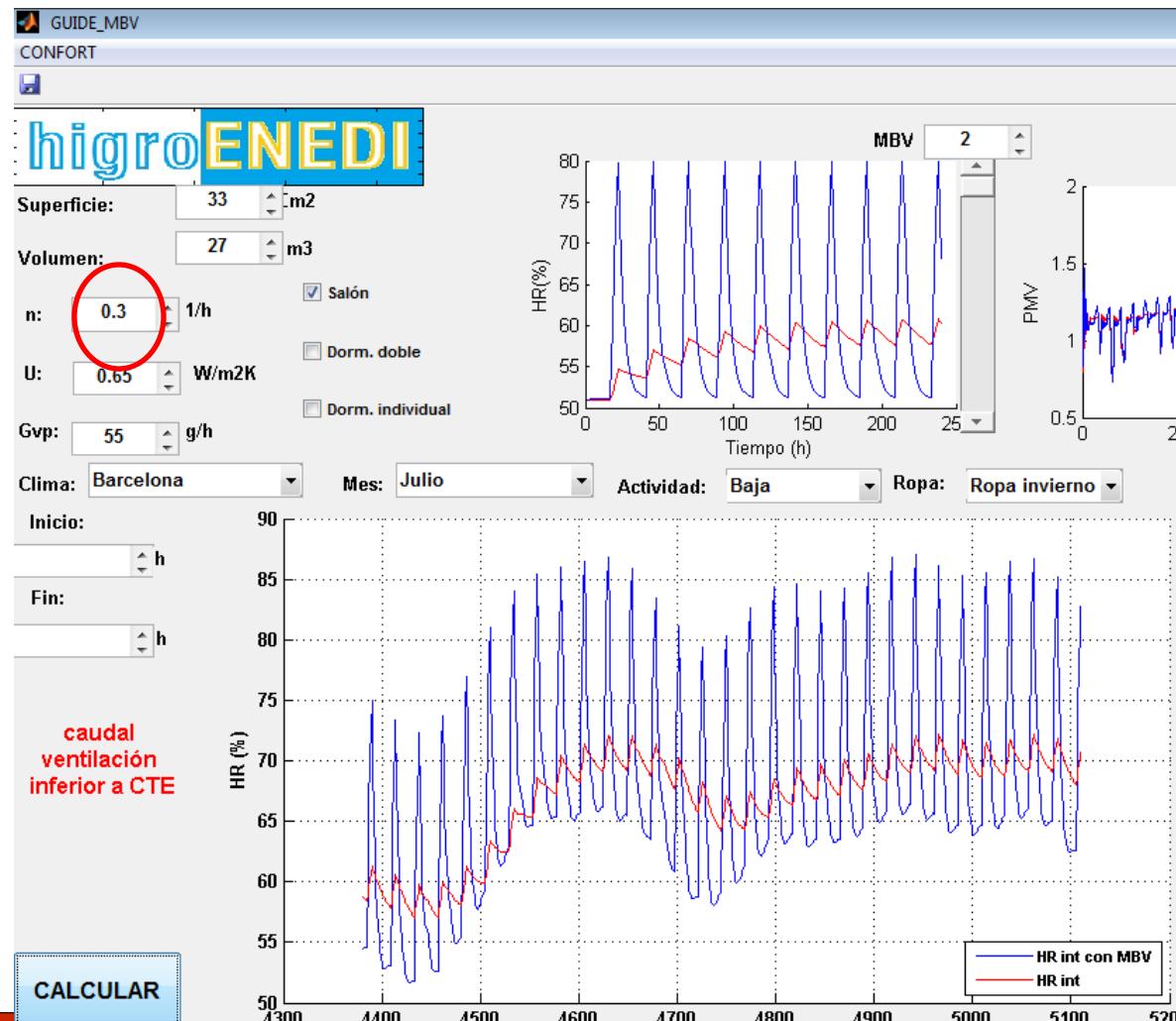
Barcelona, Enero, 0.3 h^{-1} , 55 g/h, MBV=2 g/m²%



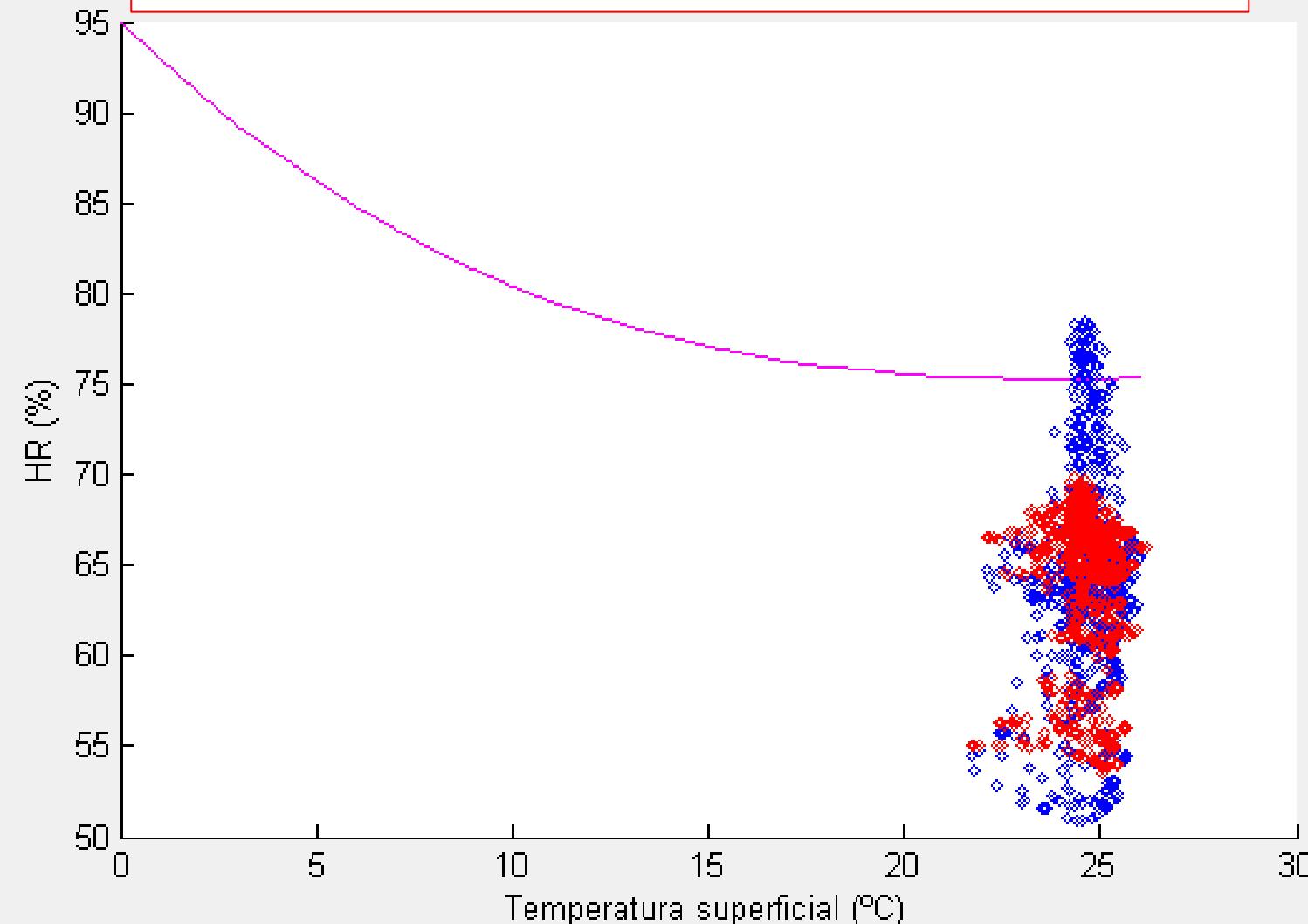
Barcelona, Julio, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$

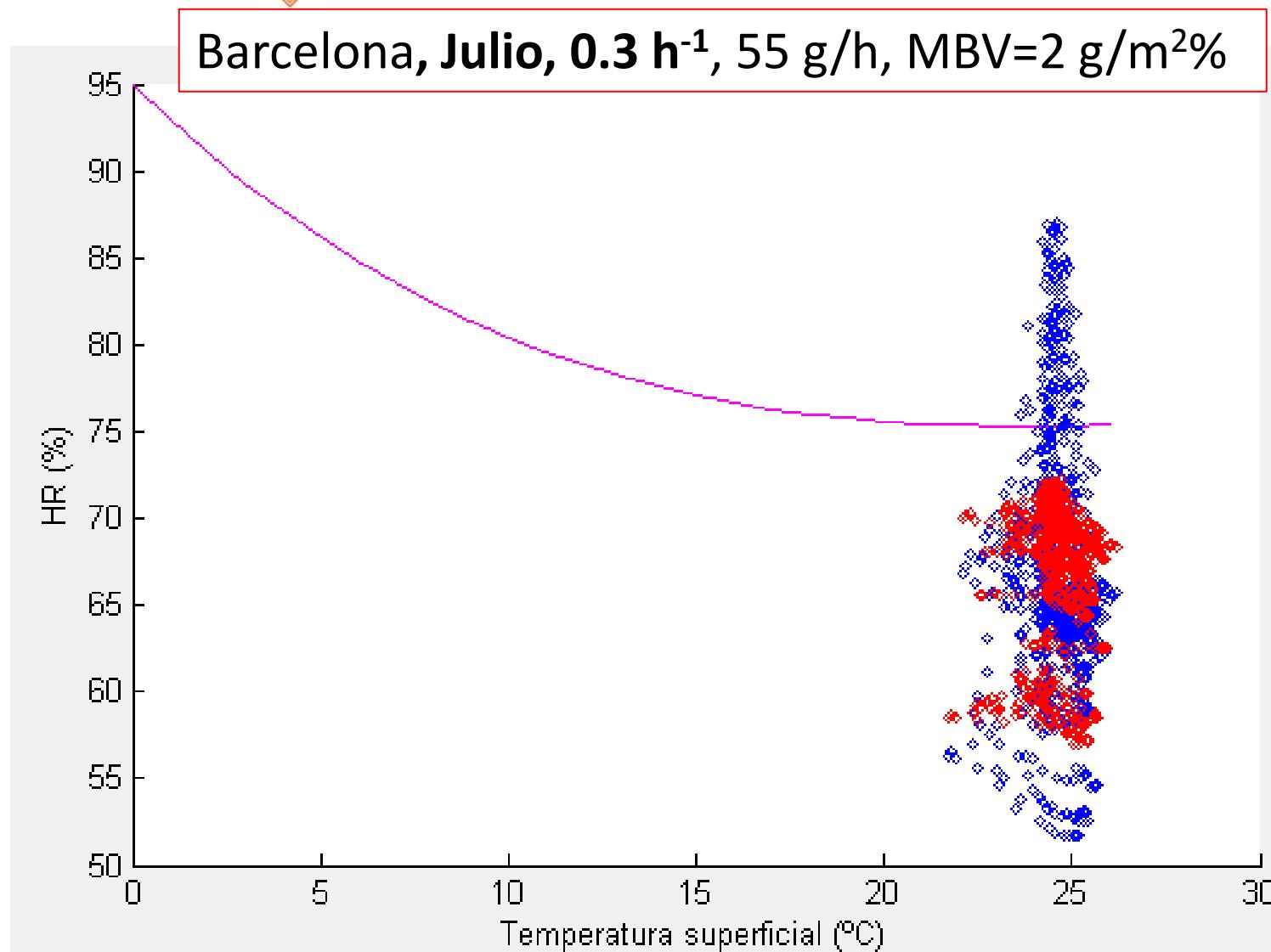


Barcelona, Julio, 0.3 h⁻¹, 55 g/h, MBV=2 g/m²%

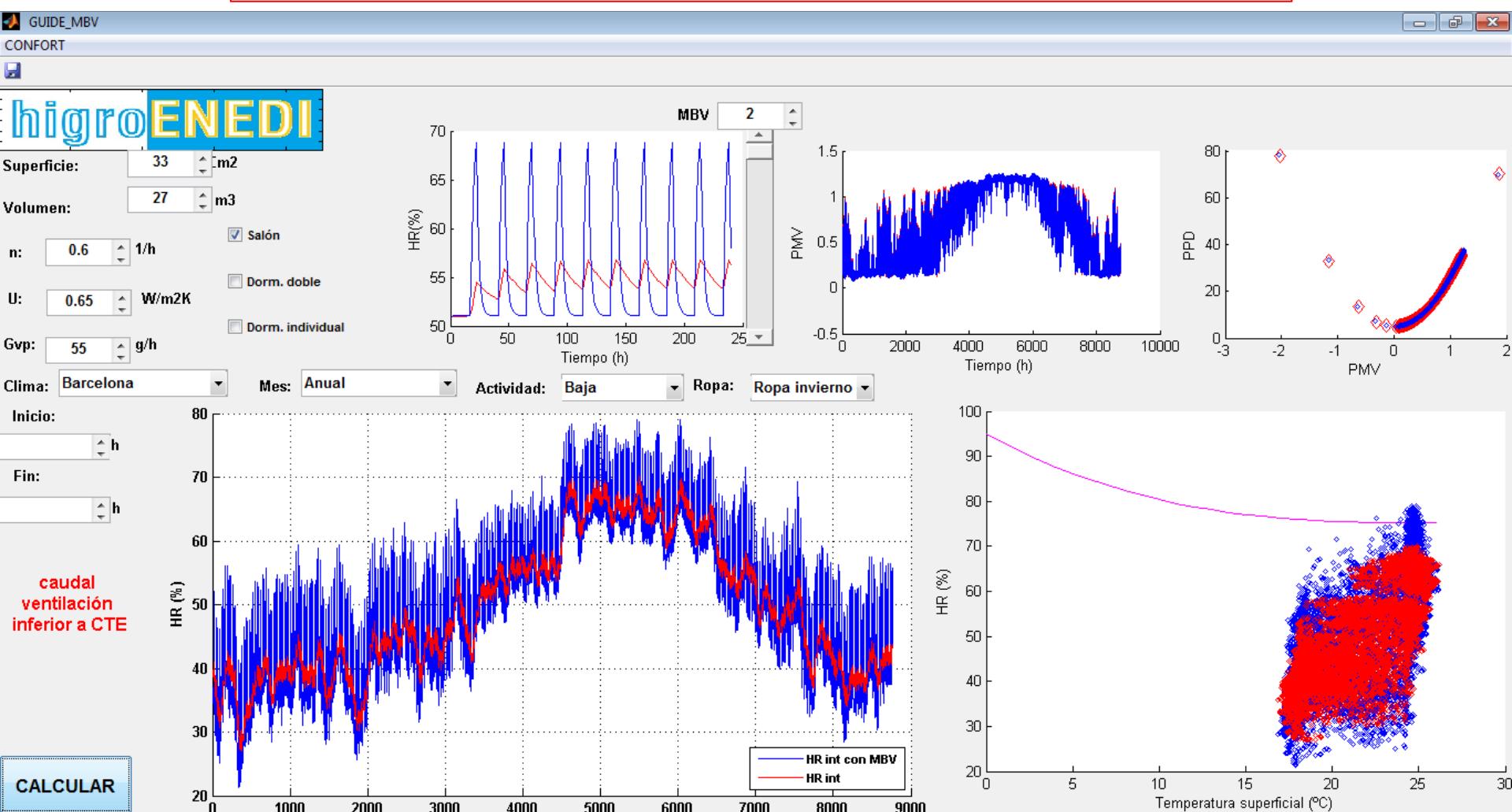


Barcelona, Julio, 0.6 h^{-1} , 55 g/h , $\text{MBV}=2 \text{ g/m}^2\%$

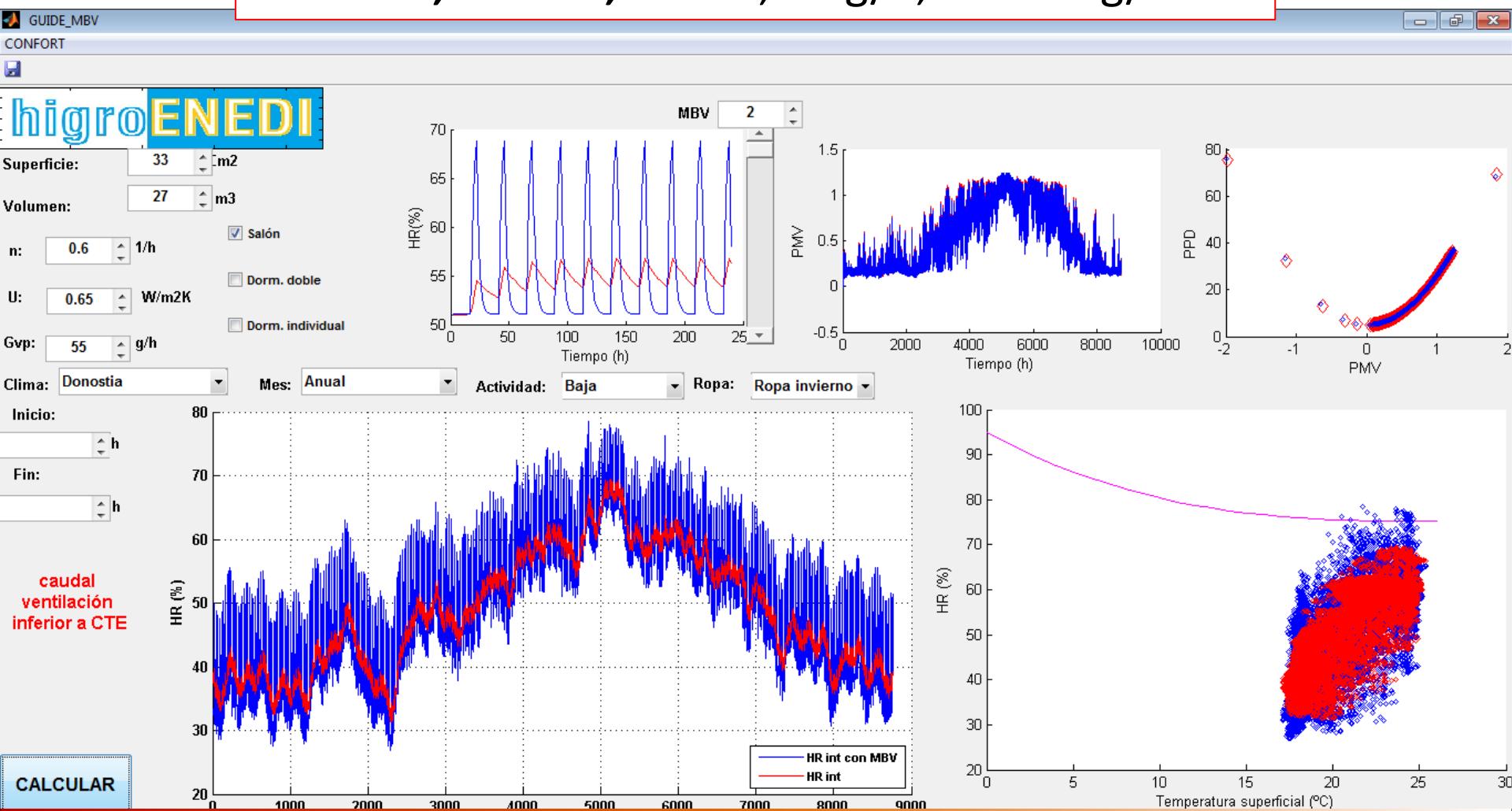




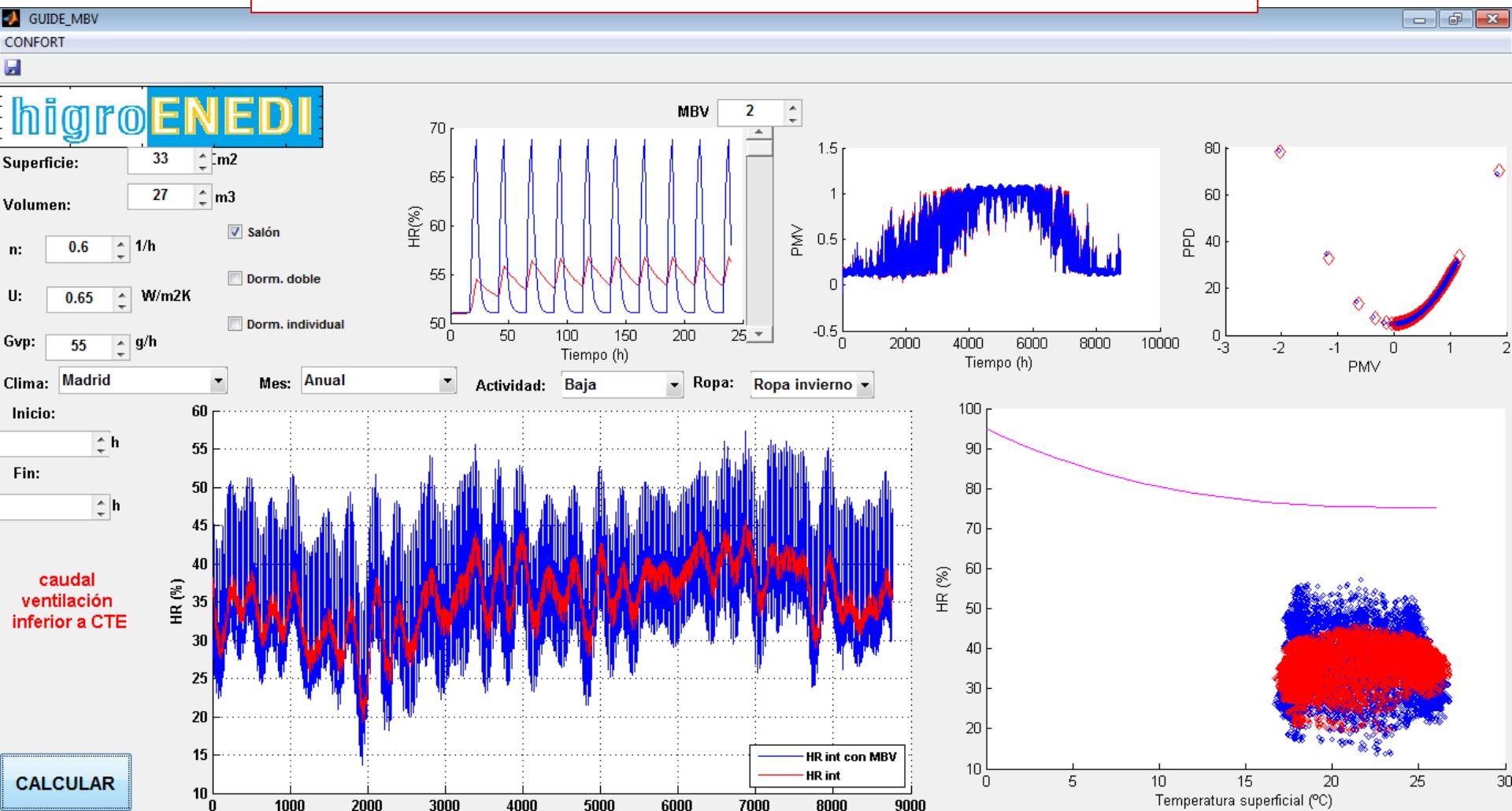
Barcelona, ANUAL, 0.6 h⁻¹, 55 g/h, MBV=2 g/m²%



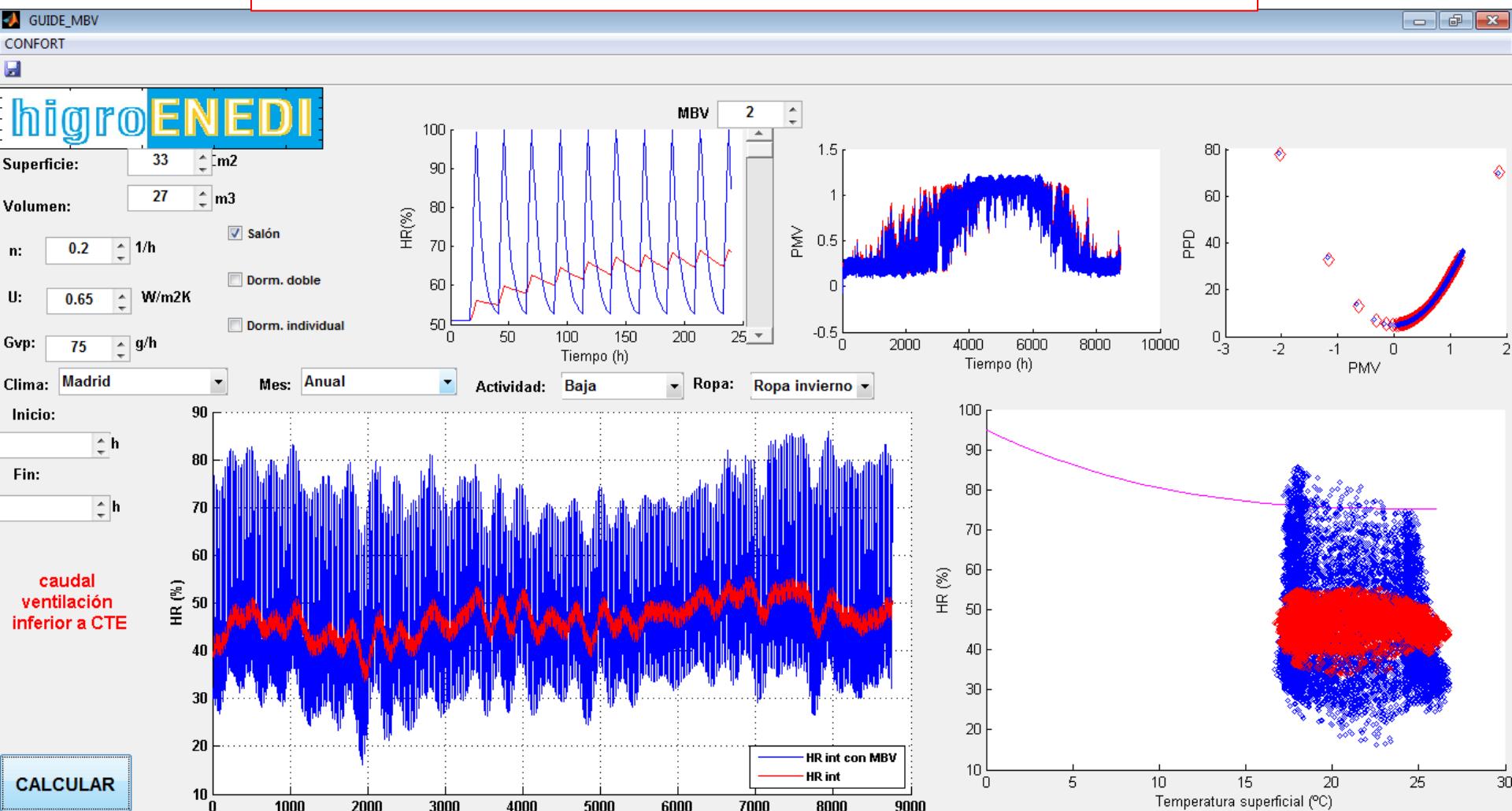
Donostia, ANUAL, 0.6 h⁻¹, 55 g/h, MBV=2 g/m²%



Madrid, ANUAL, 0.6 h⁻¹, 55 g/h, MBV=2 g/m²%



Madrid, ANUAL, 0.2 h⁻¹, 75 g/h, MBV=2 g/m²%



- Reducción consumo energético

Inercia higrotérmica

- Al igual que en edificios diseñados adecuadamente, con un favorable factor de utilización, la masa térmica puede reducir la demanda global de energía, y mejorar el confort térmico.
- Del mismo modo, el uso de materiales con **alto MBV** **permite regular los picos de humedad relativa interior** al ser absorbidas las cargas de humedad por la envolvente del edificio, **para ser restituidas como ganancias latentes favorables** durante los períodos de **baja humedad**.

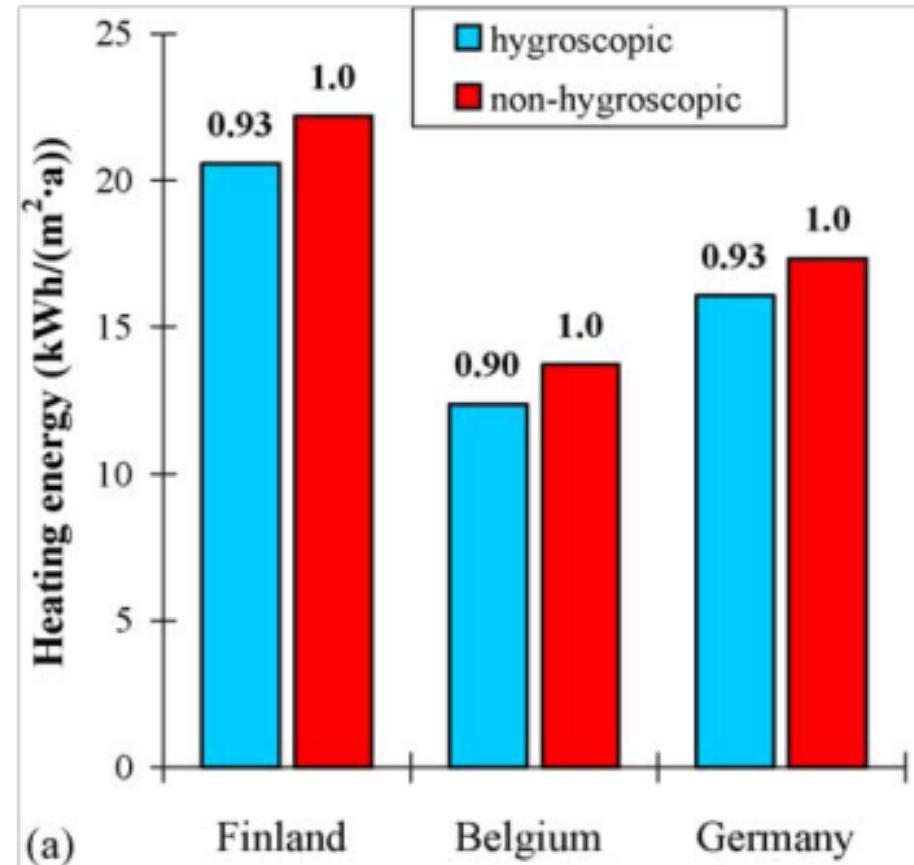
Ahorro energético indirecto **en refrigeración/calefacción:**

Al mejorar las condiciones de humedad y con ello las condiciones de confort respiratorio y calidad del aire interior, es posible alterar la temperatura y la tasa de ventilación de edificios que utilizan materiales higroscópicos:

- Reducir tasa ventilación (15%)
- Reducir temperatura consignación invierno ($\downarrow 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Aumentar temperatura consigna verano ($\uparrow 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Ahorro energético en calefacción:

El calor generado durante la adsorción de humedad en materiales de construcción higroscópicos disminuye el consumo de energía de calefacción durante la ocupación.

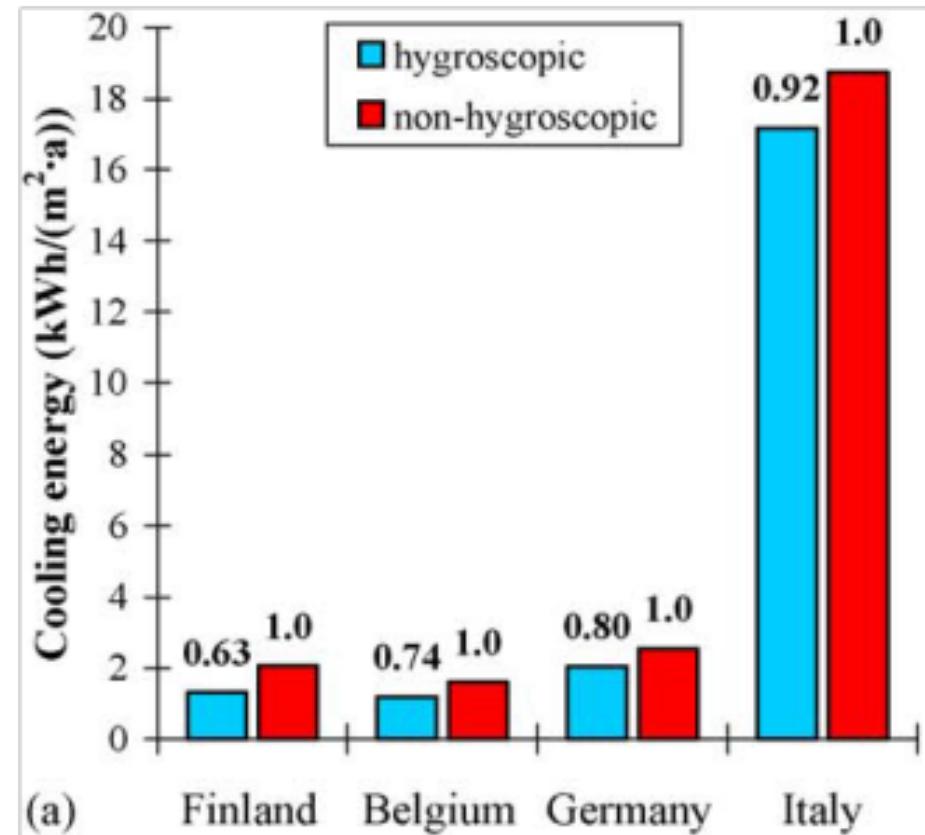


Fuente: Olalekan F. et al. Energy and Buildings 38 (2006) 1270–1282

Ahorro energético en refrigeración:

La disminución de la entalpía del aire disminuye la energía necesaria para enfriar el edificio.

(la entalpía media del aire interior es cerca de 2 kJ/kg más baja durante la ocupación con materiales higroscópicos que con no higroscópicos).



Fuente: Olalekan F. et al. Energy and Buildings 38 (2006) 1270–1282

Conclusiones:

- Necesidad de desarrollar materiales higrotérmicos para la regulación pasiva de la humedad relativa interior
 - aplicación en edificios de oficinas con relativamente altas cargas de humedad durante el día
 - en museos, archivos documentales, galerías de arte, bibliotecas, y también para el patrimonio arquitectónico (por ejemplo, edificios históricos que permitan acceso de los visitantes), donde los elementos que se exhiben o almacenan son sensibles a la humedad y pueden estar sometidos a variaciones periódicas en las cargas de humedad.
 - en edificios residenciales para evitar riesgo de condensaciones en condiciones de ventilación defectuosa



Gracias por su atención
Eskerrik asko zuen arretagatik

<http://www.ehu.eus/enedi/>



gomez.arriaran@ehu.eus

943 01 7196

Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa – Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea