



Estrategias para el Confort Térmico de Grupos en Aplicaciones de Inteligencia Ambiental

Jorge Luis Jácome Domínguez*

DIRECTORES:

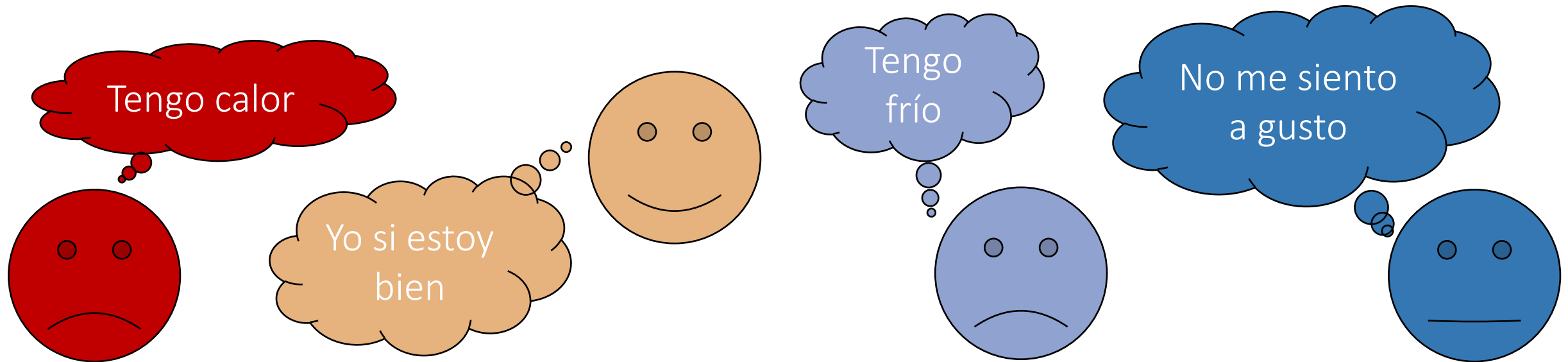
DR. EDGARD IVÁN BENÍTEZ GUERRERO

DR GUILLERMO GILBERTO MOLERO CASTILLO

* Becario CONACYT 930925. Proyecto CONACYT “Infraestructura para Agilizar el Desarrollo de Sistemas Centrados en el Usuario” (Ref. 3053).

-

- **Condición** descrita como la **satisfacción** que una persona tiene con respecto de su **entorno térmico**.



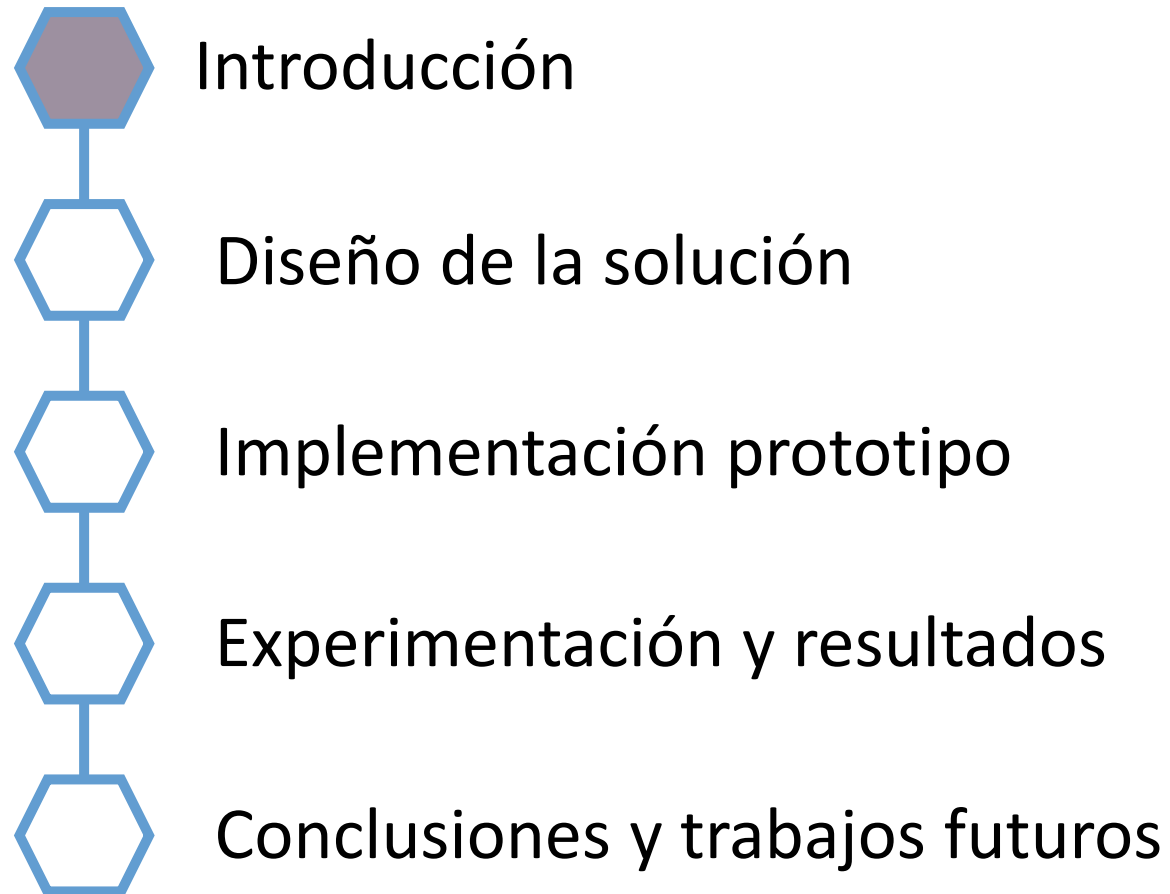
- El estándar **ASHRAE 55** define al conjunto de **características** y **métodos tradicionalmente** utilizados para **medir** esta **condición**.

Soluciones de Aml para Confort Térmico



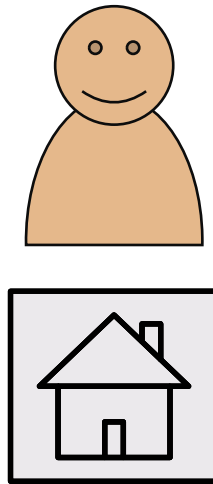
	Autores	Métodos	Aspectos Antropométricos	Aspectos Demográficos	Preferencias	Variables
Trabajos de Confort Personal	Aguilera y cols. (2019)	TPV	-	-	X	Primarias
	Kim y cols. (2018)	PMV	X	X	X	Primarias
	Nolich y cols. (2019)	PMV	-	-	X	Primarias
Trabajos de Confort Grupal	Escandón y cols.(2019)	RNA (PMV, PPD, Tco)	-	-	-	Primarias
	Gómez-Romero y cols. (2018)	PMV	-	-	-	Primarias
	Marinakis y Doukas (2018)	Comparación (Reglas IF-THEN)	-	-	X	Temperatura
	Martinez y cols.(2014)	PMV	-	-	-	Primarias + Niveles de gas

Comprobar, a través de una solución de **Aml** que considere aspectos **individuales** y utilice **estrategias** de toma de decisión grupal, si se pueden obtener mejores resultados de **Confort Térmico Grupal**, que bajo un **enfoque tradicional**.



Fuente	Estrategia	Descripción
Estándar ASHRAE 55	ASHRAE 55 (Tradicional)	Representación uniforme al grupo.
Sistemas de Recomendación para Grupos (Masthoff, 2005)	Promedio	Media del Confort Térmico del grupo.
	Placer máximo	Confort Térmico votado por el miembro más satisfecho en el grupo.
	Miseria mínima	Confort Térmico votado por el miembro menos satisfecho en el grupo.
	El más respetado	Confort Térmico votado por la persona de mayor jerarquía.
	El más popular	Confort Térmico con más votos en el grupo.

Modelo Tradicional Extendido (TE)



- Ritmo Metabólico
- Aislamiento Térmico de la ropa

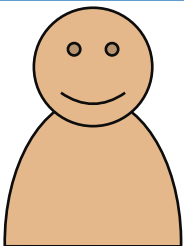
- Temperatura
- Humedad
- Velocidad del aire

→ PMV (R,A,T,H,V) → Calcula un valor entre -3 y +3, tradicionalmente 0 suscribe un estado de **comodidad**.

Se **extiende** el rango de comodidad a **-1** y **+1**, ya que

- Personas un **BMI** alto son mas resistentes a condiciones frías.
- Personas mayores de **50 años** toleran más las condiciones **frías**, excepto las mujeres.
- Las **mujeres**, menores de **50 años**, toleran más las condiciones **cálidas**.
- Los **hombres** toleran más las condiciones **frías**.
- Una **concentración de gas o polvo** mayor de **1000 ppm** implica un entorno **incómodo**.

Modelo de Preferencias Subjetivas de Usuario (PSU)

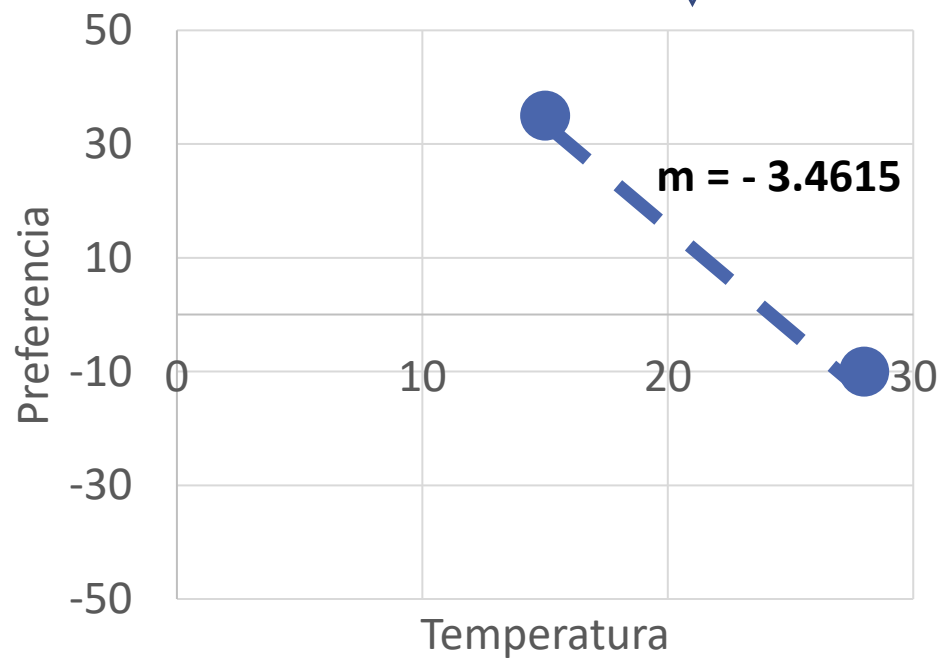


- **Preferencia térmica**

- bajo 15°C
- bajo 28°C

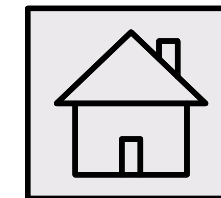
Temperatura	Preferencia
15°C	+35
28°C	-10

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$



- **Temperatura**

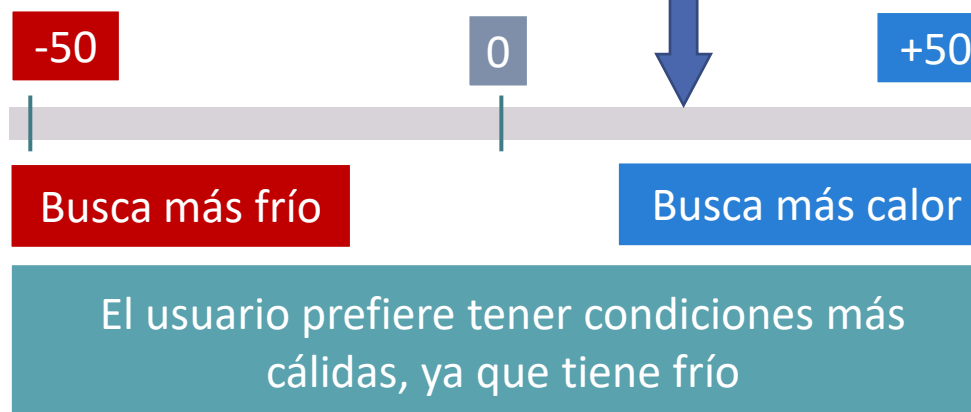
18°C

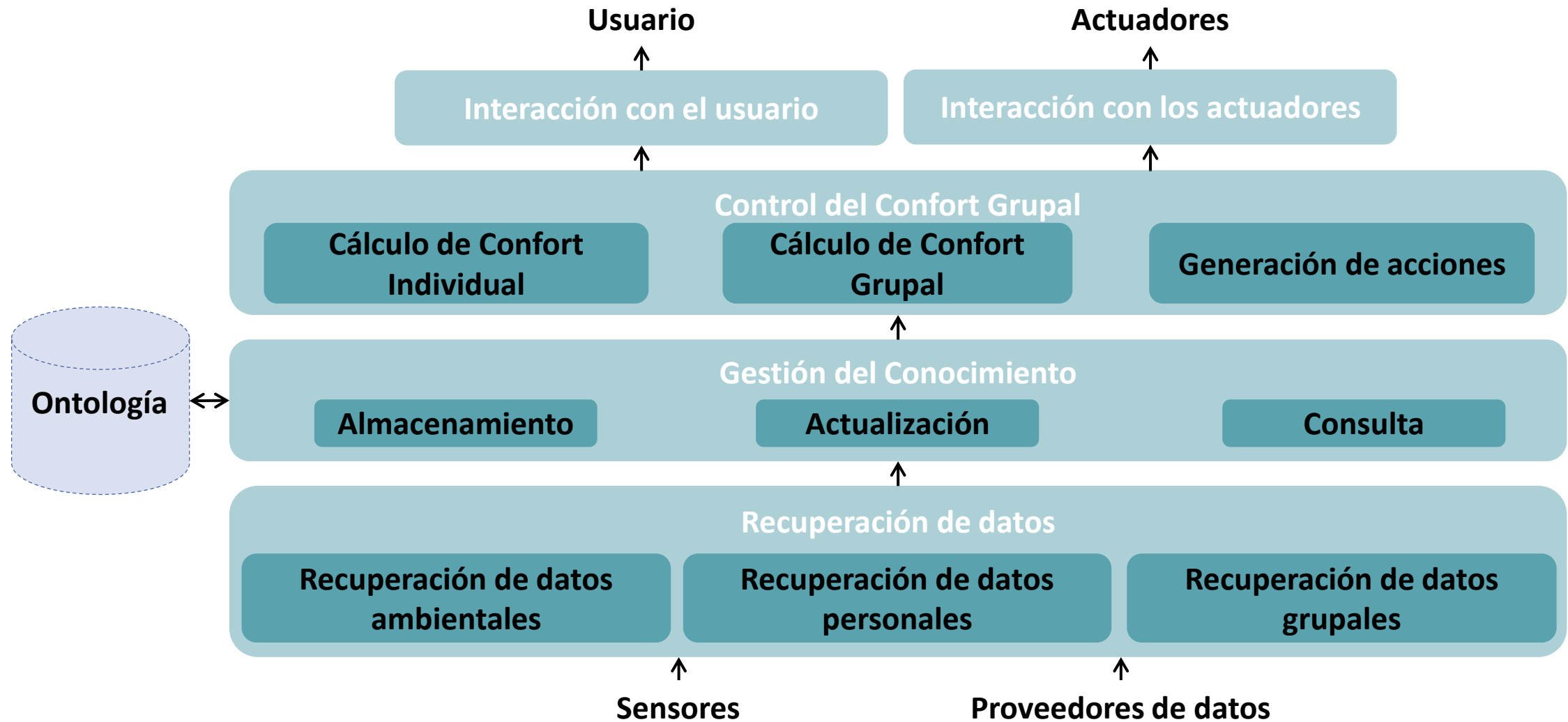


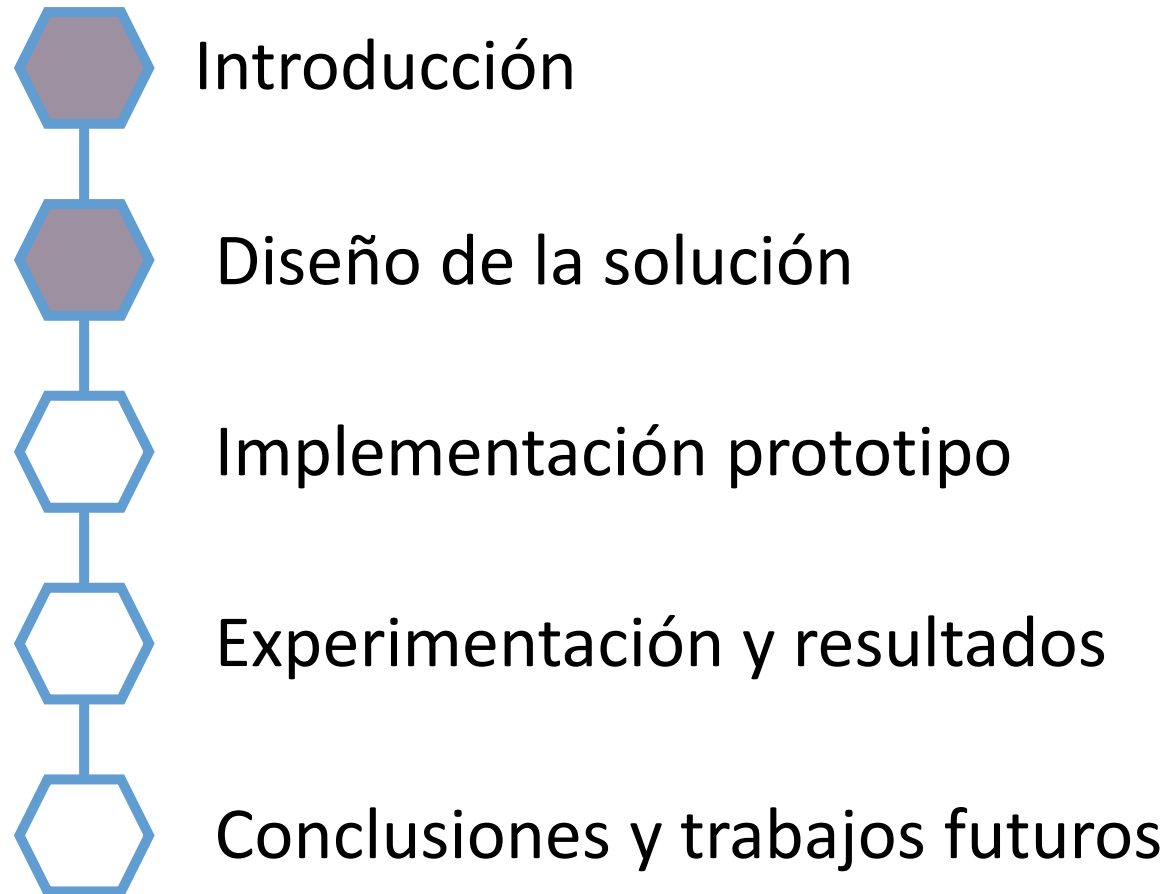
$$y = (m * [x - X_1]) + Y_1$$

- **Preferencia**

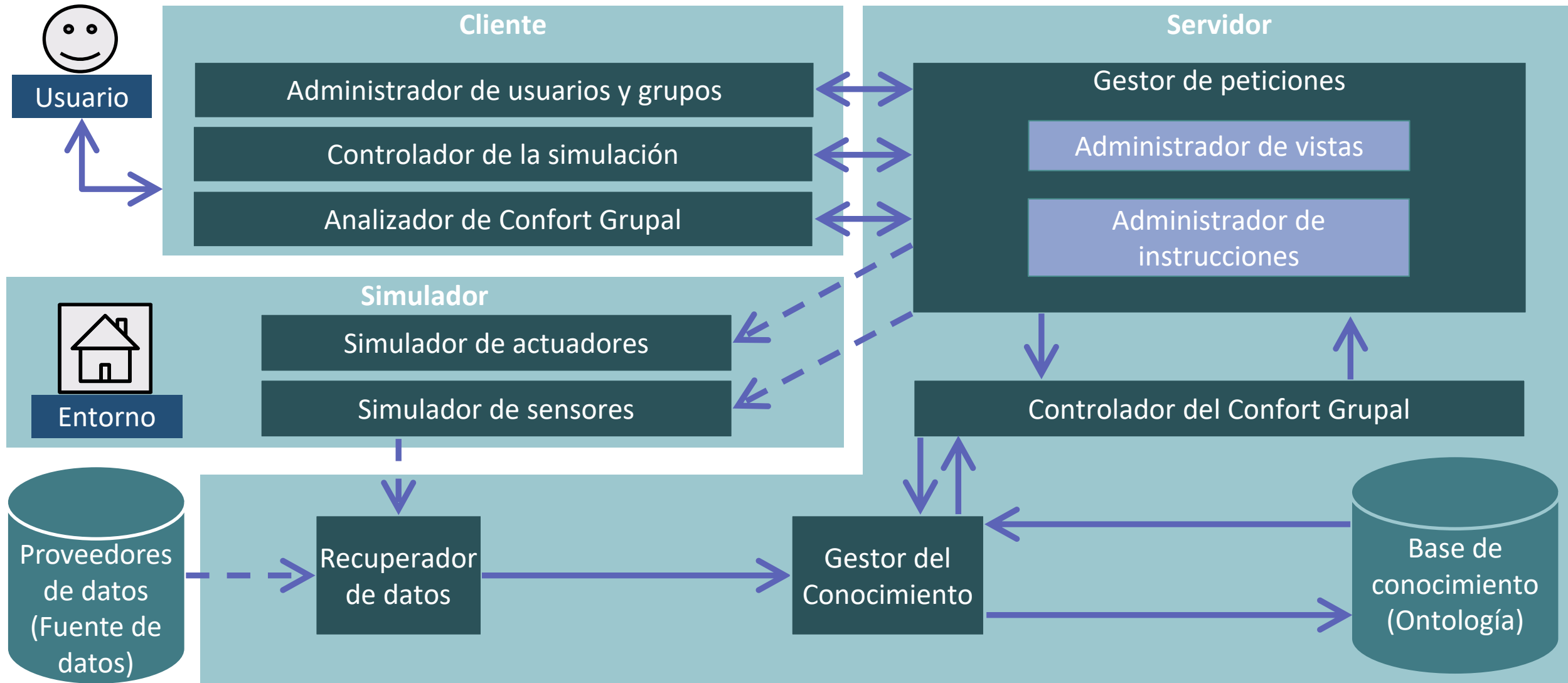
- +24.6153
- pmv = -2







Arquitectura del prototipo



- Configuración de usuarios y grupos
- Configuración de la simulación
- **Analizador de Confort Térmico**



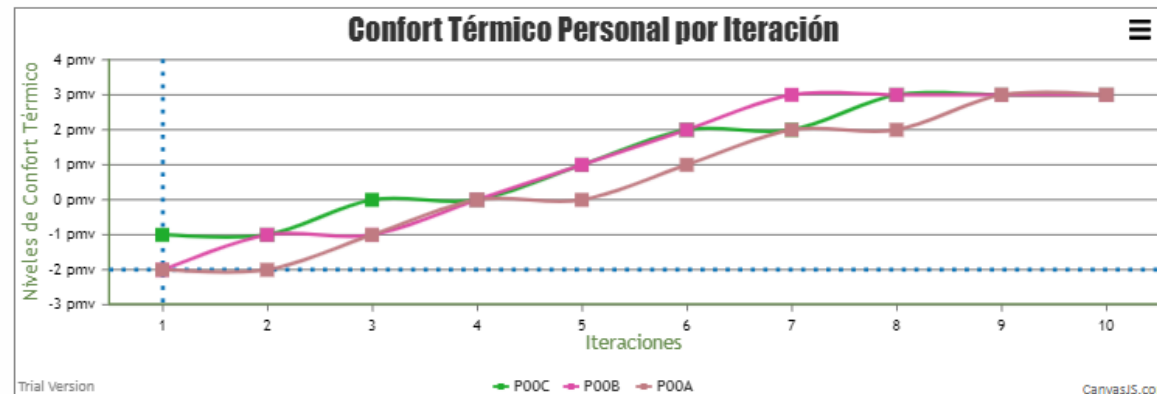
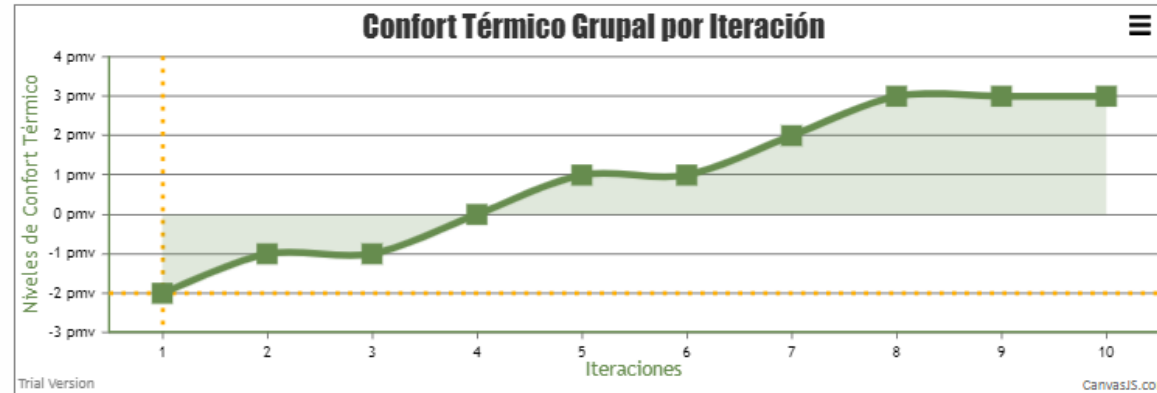
Análisis del Confort Térmico

Estrategia de Confort para grupos: Promedio

☒ Se utiliza el modelo PSU

Grupo revisado: Clase H

Reiniciar cálculo



Iteración: 1

Estado: Incomodo

Sensación: Con frío

Confort Grupal: -2

Ver detalle de iteración

Etiqueta: P00B

Iteración: 1

Estado: Incomodo

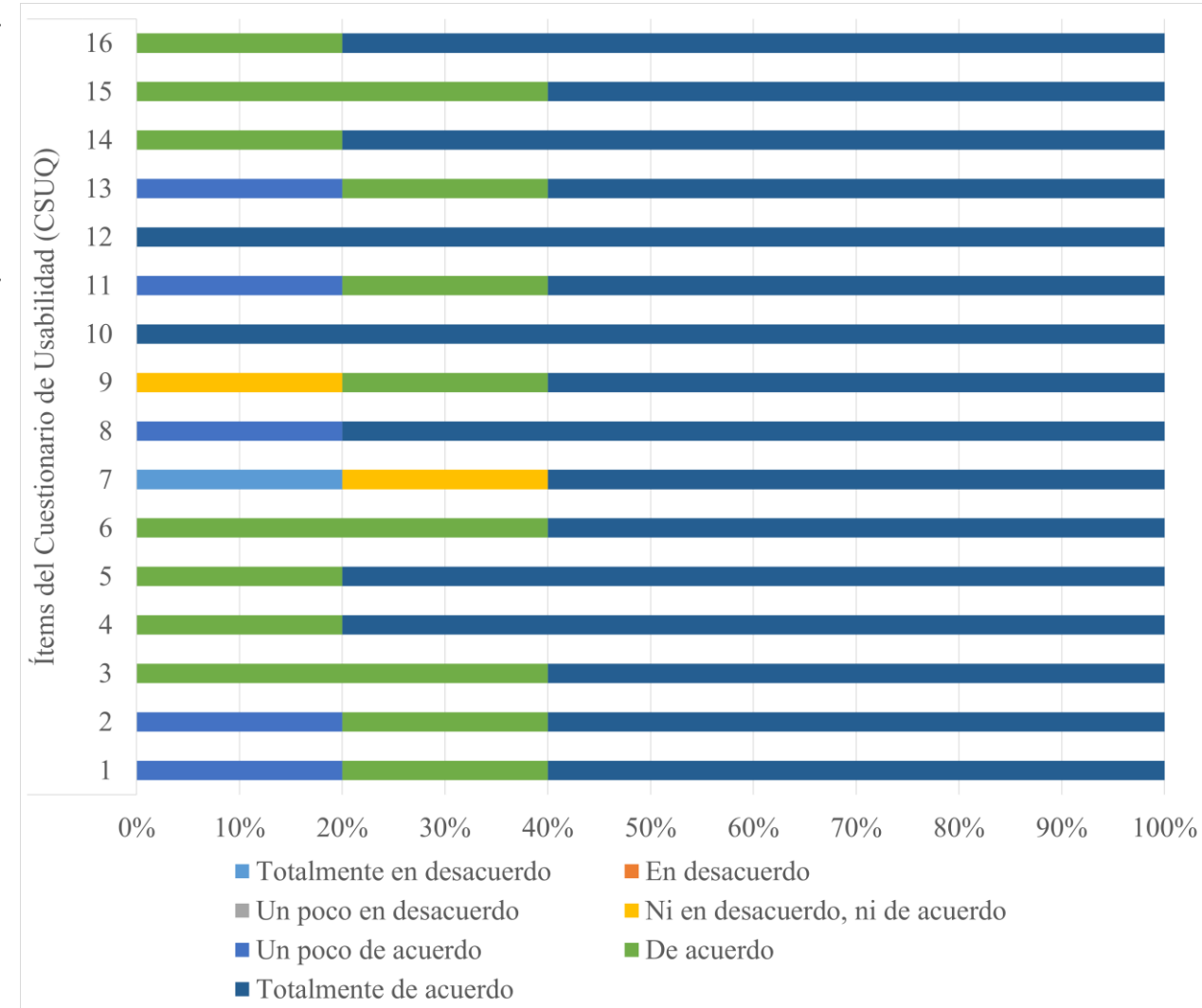
Sensación: Con frío

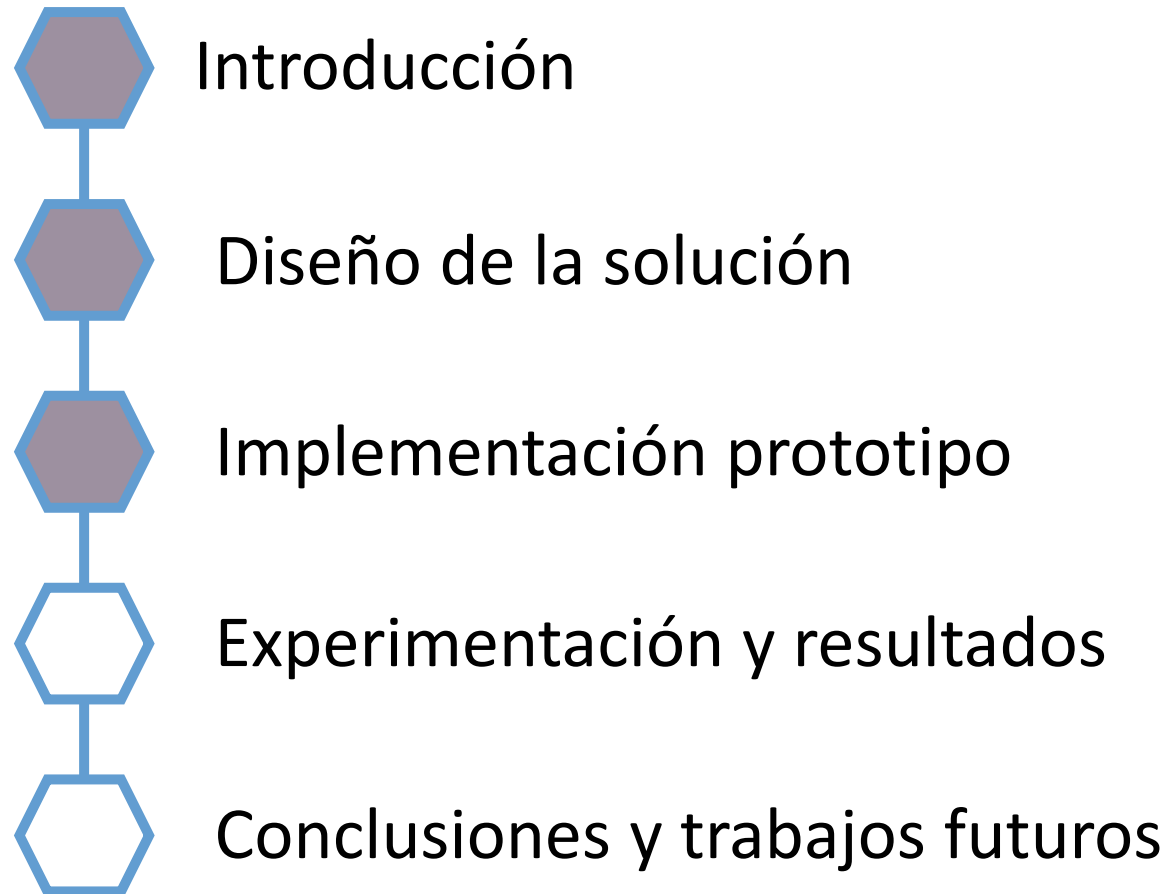
Confort Personal: -2

Configurar usuarios y grupos

Configurar simulación

- **Eficacia** del **88.57%** en el **Escenario 1**; y **91.43%** en el **Escenario 2**.
- **Eficiencia** de usuarios de **0.01919** tareas/segundo en el **Escenario 1**; y **0.02583** tareas/segundo en el **Escenario 2**.
 - Frente a la **Eficiencia** del responsable del proyecto de **0.08003** tareas/segundo en el **Escenario 1** y **0.083107** tareas/segundo en el **Escenario 2**.
- **Satisfacción**, medida a través del **CSUQ**, muestra que en general, los usuarios consiguieron cumplir sus objetivos.





Escenarios de prueba



Etiqueta	Sexo	Edad	Altura <i>m</i> ²	Peso kg	Rol	Tipo de ropa vestida	Preferencia en Temperatura fría	Preferencia en Temperatura cálida	Grupo
Alum001	Hombre	25	1.70	80	Alumno	Ropa neutral	+25	-35	Clase W
Alum002	Hombre	27	1.60	65	Alumno	Ropa normal para invierno	+35	-15	Clase W
Alum003	Mujer	30	1.55	55	Alumno	Ropa pesada para verano	+20	-12	Clase W
Alum004	Mujer	24	1.60	50	Alumno	Ropa pesada para verano	+18	-10	Clase W
Alum005	Mujer	30	1.63	65	Alumno	Ropa ligera para invierno	+30	-15	Clase W
Alum006	Hombre	26	1.66	70	Alumno	Ropa pesada para invierno	+40	-5	Clase W
Alum007	Hombre	31	1.73	75	Alumno	Ropa normal para verano	+13	-30	Clase W
Alum008	Mujer	32	1.60	65	Alumno	Ropa pesada para verano	+20	-22	Clase W
Alum009	Mujer	29	1.50	60	Alumno	Ropa neutral	+33	-15	Clase W
Alum010	Mujer	25	1.49	55	Alumno	Ropa neutral	+20	-15	Clase W
Docn011	Hombre	55	1.75	95	Docente	Ropa normal para verano	+16	-21	Clase W

Número de iteraciones:

5

Duración de la iteración:

5

segundos

Condiciones de inicio

Incremento por iteración

Temperatura:

15.0

°C

3.0

°C

Humedad:

45.0

%

5.0

%

Concentración de gas:

300.0

ppm

20.0

ppm

Velocidad del aire:

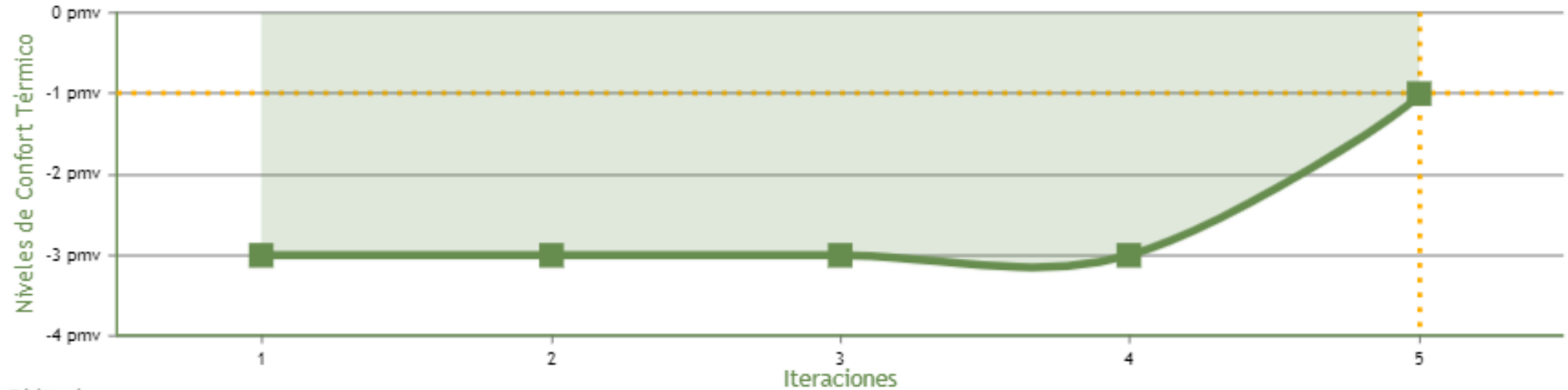
1.1

m/s

0.1

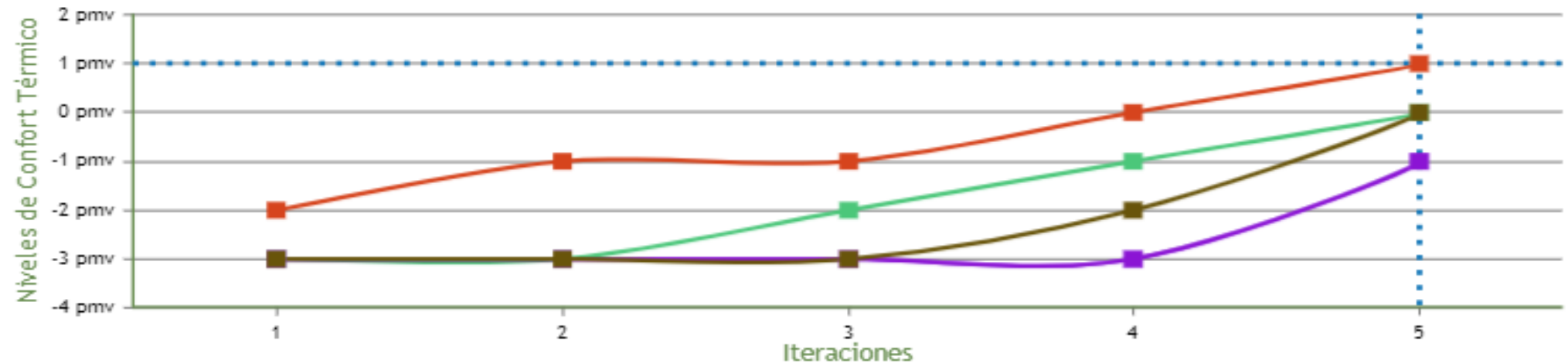
m/s

Confort Térmico Grupal por Iteración



Trial Version

Confort Térmico Personal por Iteración



Trial Version

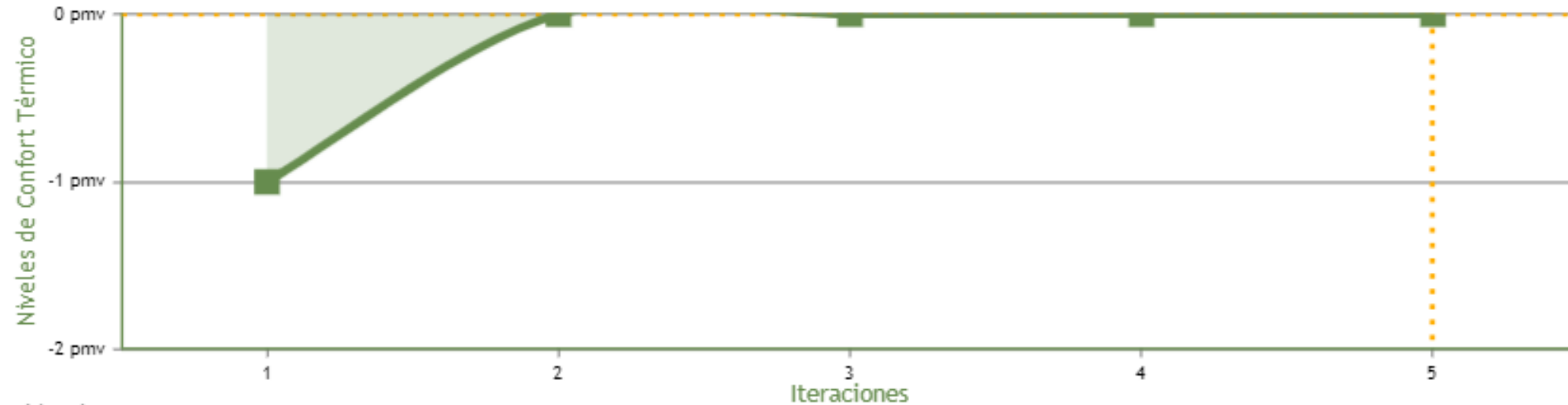
Alum005 Alum004 Alum003 Alum002 Alum001

Evaluación experimental: escenario 1



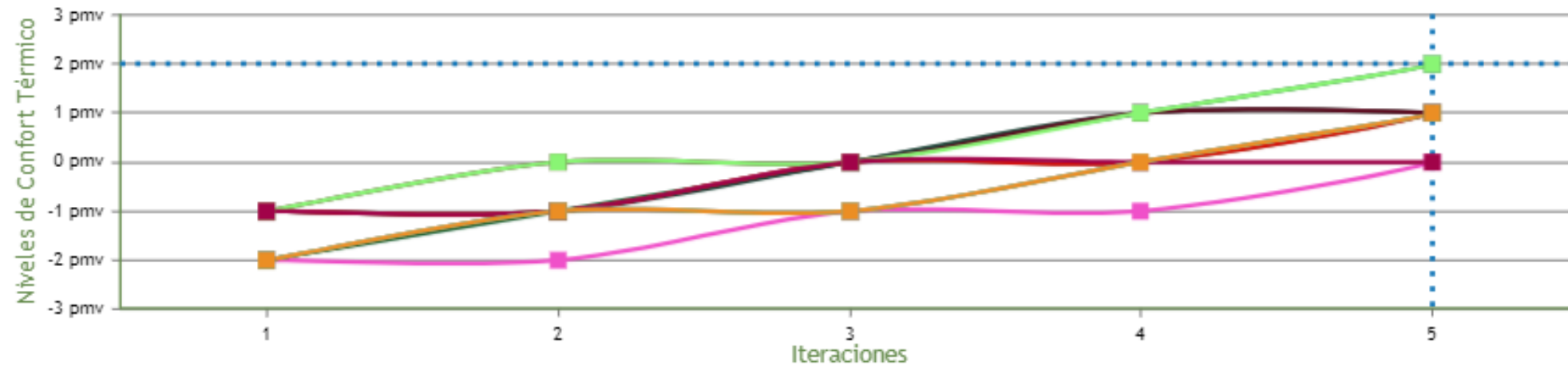
Ito	Condiciones ambientales revisada	Modelo	TE						PSU				
		Estrategia	ASHRAE 55 (Tradicional)	El promedio	Placer máximo	Miseria mínima	El más respetado	El más popular	El promedio	Placer máximo	Miseria mínima	El más respetado	El más popular
3	T: 21°C, H: 55%, V: 1.3 m/s y C: 340 ppm	Confort Grupal	-2	-2	-1	-3	-3	-3	0	0	-1	0	0
		Usuarios conformes	0/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5
		Estado del grupo	Incómodo	Incómodo	Cómodo	Incómodo	Incómodo	Incómodo	Cómodo	Cómodo	Incómodo	Cómodo	Cómodo
4	T: 24°C, H: 60%, V: 1.4 m/s y C: 360 ppm	Confort Grupal	-1	-2	0	-3	-3	-3	0	0	+1	0	0
		Usuarios conformes	1/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
		Estado del grupo	Incómodo	Incómodo	Cómodo	Incómodo	Incómodo	Incómodo	Cómodo	Cómodo	Incómodo	Cómodo	Cómodo
5	T: 27°C, H: 65%, V: 1.5 m/s y C: 380 ppm	Confort Grupal	0	0	0	-1	-1	0	+1	0	+2	+1	+1
		Usuarios conformes	2/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5
		Estado del grupo	Cómodo	Cómodo	Cómodo	Cómodo	Cómodo	Cómodo	Incómodo	Cómodo	Incómodo	Incómodo	Incómodo

Confort Térmico Grupal por Iteración



Trial Version

Confort Térmico Personal por Iteración



Trial Version

Alum006 Alum003 Alum001 Alum008 Alum005 Docn011 Alum010 Alum007 Alum004 Alum002 Alum009

Evaluación experimental: escenario 2

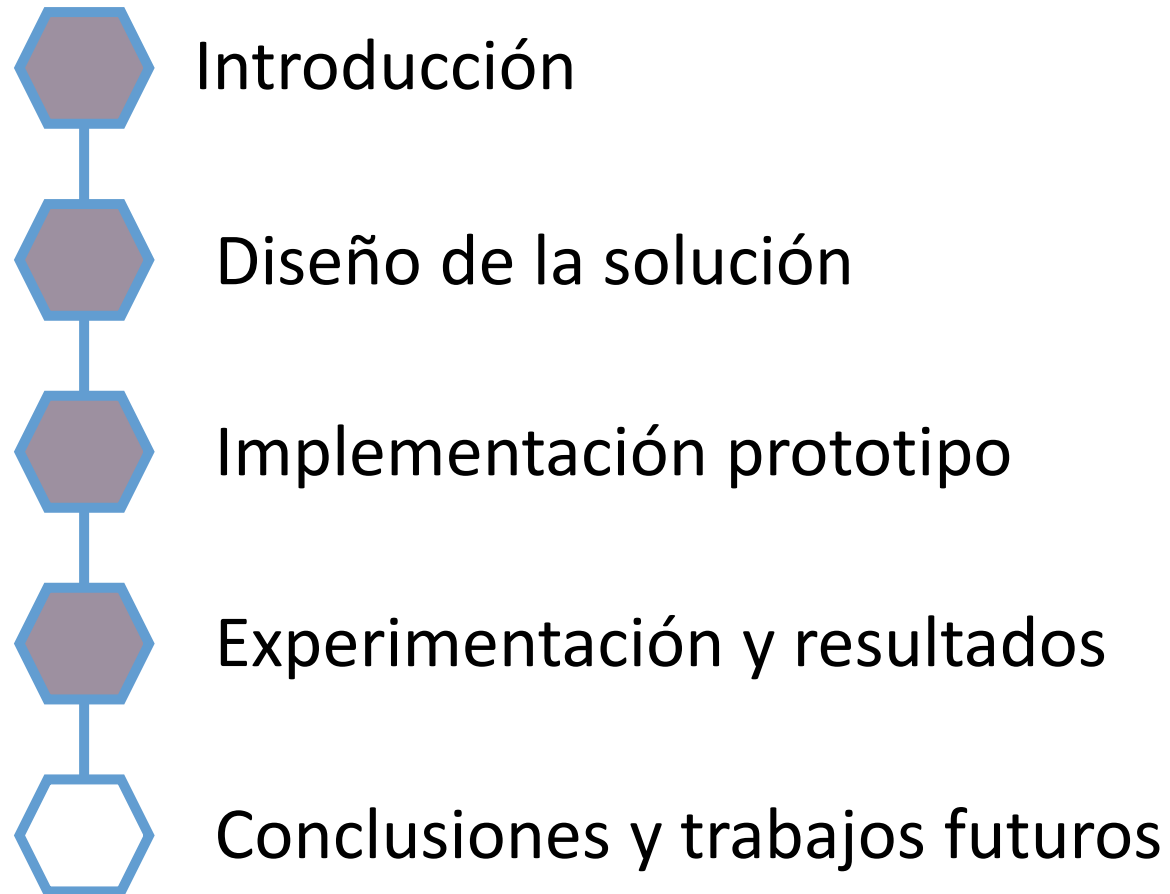


Ito	Condiciones ambientales revisada	Modelo	TE						PSU				
		Estrategia	ASHRAE 55 (Tradicional)	El promedio	Placer máximo	Miseria mínima	El más respetado	El más popular	El promedio	Placer máximo	Miseria mínima	El más respetado	El más popular
3	T: 21°C, H: 55%, V: 1.3 m/s y C: 340 ppm	Confort Grupal	-2	-2	0	-3	-3	-3	0	0	-1	0	0
		Usuarios conformes	1/11	2/11	2/11	2/11	2/11	2/11	7/11	7/11	7/11	7/11	7/11
		Estado del grupo	Incómodo	Incómodo	Cómodo	Incómodo	Incómodo	Incómodo	Cómodo	Cómodo	Incómodo	Cómodo	Cómodo
4	T: 24°C, H: 60%, V: 1.4 m/s y C: 360 ppm	Confort Grupal	-1	-2	0	-3	-3	-3	0	0	+1	+1	0
		Usuarios conformes	1/11	2/11	2/11	2/11	2/11	2/11	6/11	6/11	6/11	6/11	6/11
		Estado del grupo	Incómodo	Incómodo	Cómodo	Incómodo	Incómodo	Incómodo	Cómodo	Cómodo	Incómodo	Incómodo	Cómodo
5	T: 27°C, H: 65%, V: 1.5 m/s y C: 380 ppm	Confort Grupal	0	0	0	-1	-1	-1	+1	0	+2	+1	+1
		Usuarios conformes	4/11	8/11	8/11	8/11	8/11	8/11	2/11	2/11	2/11	2/11	2/11
		Estado del grupo	Cómodo	Cómodo	Cómodo	Incómodo	Cómodo	Cómodo	Incómodo	Cómodo	Incómodo	Incómodo	Incómodo

En general, con el **modelo TE** las **condiciones térmicamente aceptables** para el grupo, definidas a través de las distintas estrategias implementadas, **no variaron** en cuando al **Confort Grupal**. Mientras que, con el **modelo PSU**, **si variaron** en cuando al **Confort Grupal**.

Esto sugiere que la **capacidad** de las **estrategias** utilizadas, se relaciona con el **modelo** de **confort**, las **características** y **preferencias térmicas** de las **personas**.

Por lo cual, se puede decir que la **solución propuesta**, es capaz encontrar si las **condiciones satisfacen** o no al **grupo**, de forma centrada en sus integrantes.



En este trabajo se proponen:

- **Estrategias y modelos** para el cálculo del **Confort Térmico Grupal** considerando elementos individuales de los miembros del grupo, lo que contrasta con el enfoque tradicional.
- Una **Arquitectura Funcional**, para sistemas de **Aml** que consideren las **estrategias y modelos** propuestos.
- Una implementación **Prototipo** basada en la **Arquitectura Funcional**.
- Una validación experimental utilizando el **Prototipo** desarrollado.

Producto de la **evaluación** realizada, se encontró **variabilidad** en el **número** de personas **conformes** e **inconformes** de los grupos de prueba y en su **Confort Grupal**, siendo generalmente más favorables a los resultados obtenidos de forma **tradicional**. Esto sugiere que la solución propuesta es capaz de encontrar a más personas **cómodas** y otros estados de **Confort Grupal**, que los encontrados en el **enfoque tradicional**.

En futuros trabajos, sería interesante **revisar** más **variables** a las elegidas, y ver la **influencia** que un **modelo** de **Confort Personal** tiene sobre otro, al definir el **Confort Térmico** de un **individuo** y el **grupo**. Además, sería interesante observar el comportamiento del Prototipo con dispositivos físicos de sensado y actuación.

- [1] Aguilera, J. J., Kazanci, O. B., y Toftum, J. (2019). Thermal adaptation in occupant-driven hvac control. *Journal of Building Engineering*, 25, 100846. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219303237> doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100846>
- [2] Escandón, R., Ascione, F., Bianco, N., Mauro, G. M., Suárez, R., y Sendra, J. J. (2019). Thermal comfort prediction in a building category: Artificial neural network generation from calibrated models for a social housing stock in southern europe. *Applied Thermal Engineering*, 150, 492-505. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431118360617> doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.013>
- [3] Gómez-Romero, J., Molina-Solana, M., Ros, M., Ruiz, M., y Martín-Bautista, M. (2018). Comfort as a service: A new paradigm for residential environmental quality control. *Sustainability*, 10 (9). Descargado de <http://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3053> doi: 10.3390/su10093053
- [4] Marinakis, V., y Doukas, H. (2018). An advanced iot-based system for intelligent energy management in buildings. *Sensors*, 18 (2). Descargado de <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/2/610> doi: 10.3390/s18020610
- [5] Martinez, D., Teixido, M., Font, D., Javier Moreno, J., Tresanchez, M., Marco, S., y Palacín, J. (2014, 04). Ambient intelligence application based on environmental measurements performed with an assistant mobile robot. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 14, 6045-6055. doi: 10.3390/s140406045
- [6] Masthoff, J. (2005). The pursuit of satisfaction: Affective state in group recommender systems. En L. Ardissono, P. Brna, y A. Mitrovic (Eds.), *User modeling 2005* (pp. 297–306). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [7] Nolich, M., Spoladore, D., Carciotti, S., Buqi, R., y Sacco, M. (2019). Cabin as a home: A novel comfort optimization framework for iot equipped smart environments and applications on cruise ships. *Sensors*, 19 (5). Descargado de <http://www.mdpi.com/1424-8220/19/5/1060> doi: 10.3390/s19051060
- [8] Kim, J., Schiavon, S., y Brager, G. (2018, 01). Personal comfort models - a new paradigm in thermal comfort for occupant - centric environmental control. *Building and Environment*, 132, 114-124.



Gracias por su atención

¿Alguna pregunta?



Estrategias para el Confort Térmico de Grupos en Aplicaciones de Inteligencia Ambiental

Jorge Luis Jácome Domínguez*

DIRECTORES:

DR. EDGARD IVÁN BENÍTEZ GUERRERO

DR GUILLERMO GILBERTO MOLERO CASTILLO

* Becario CONACYT 930925. Proyecto CONACYT “Infraestructura para Agilizar el Desarrollo de Sistemas Centrados en el Usuario” (Ref. 3053).