# Universidad Veracruzana

Maestría en Inteligencia Artificial

# Lógica difusa

## Tarea 2. Problema del mesero y problema del confort con lógica difusa programado paso a paso en MATLAB.

*Ángel García Báez*

Dr. Sergio Hernández Méndez

5 de marzo de 2025

# Índice

# 1. Introducción

En el presente reporte se anexan los resultados del problema del mesero y el problema del confort planteados en clase con salidas singleton, modelados y evaluados con el fuzzy toolbox de matlab así como el contraste con una implementación del código hecha paso por paso para contrastar los resultados en 3 escenarios distintos por cada problema: Cuando las 2 condiciones son mínimas, cuando son medias y cuando son máximas.

## 2. Problema 1: Problema del mesero

### 2.1. Explicación del Problema

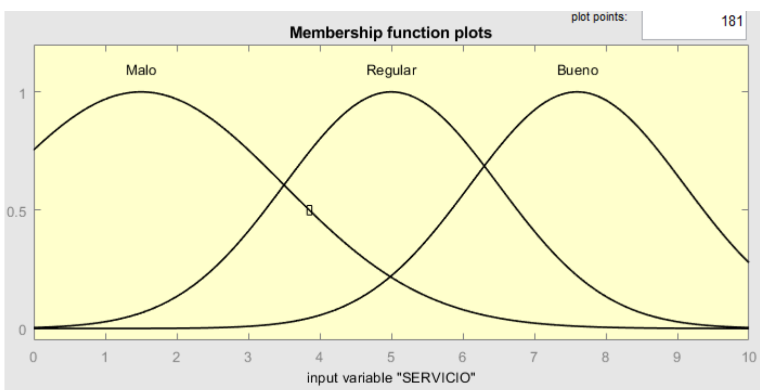
Se tiene el problema de determinar cuanta propina dejarle a un mesero en un restaurante después de comer. Para ello, se toman en cuenta las variables de Servicio y la Comida.

En la tarea 1, se hizo la labor de probar con distintas combinaciones de funciones de membresía y parámetros para suavizar lo más posible la curva, a continuación se muestra el mejor caso con salidas singleton al que se llego después de dichas experimentaciones:

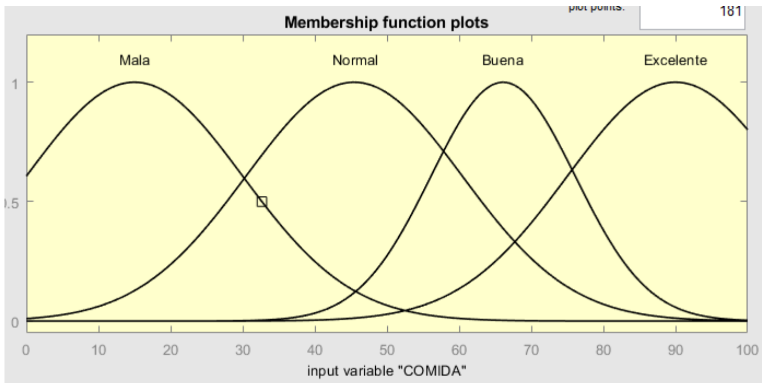
### 2.2. Variables y sus codificaciones

A continuación se listan los valores de las variables lingüísticas que se propusieron para SERVICIO, COMIDA y PROPINA como sigue:

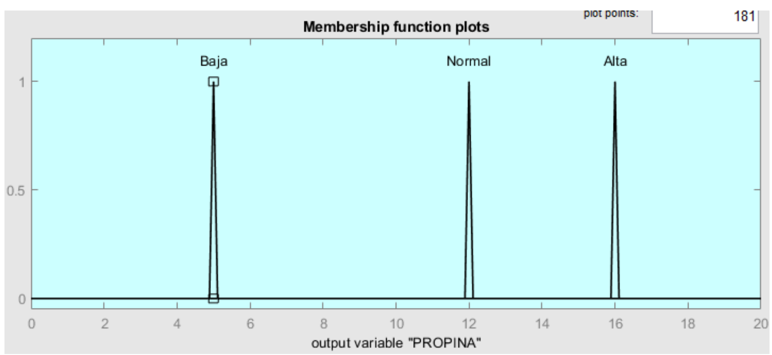
1. Servicio: Malo ($\mu = 1{,}5$, $\sigma = 2$), Regular ($\mu = 5$, $\sigma = 1{,}5$) y Bueno ($\mu = 7{,}5$, $\sigma = 1{,}5$).



2. Comida: Malo ($\mu = 15$, $\sigma = 15$), Normal ($\mu = 45{,}5$, $\sigma = 15$), Buena ($\mu = 66$, $\sigma = 10$) y Excelente ($\mu = 90$, $\sigma = 15$).




3. Baja (valor de 5), Normal (valor de 12) y Alta (valor de 16).




Las funciones de membresía de SERVICIO y COMIDA fueron modeladas con Gaussianas, mientras que la salida de PROPINA fue modelada con singletons (una triangular modificada en 1 solo valor) para mantener el sistema *sencillo* y por su naturaleza discreta.

Se mantuvo el método de desfuzzificación del centroide (centro de masa) para todas las funciones con la inferencia de Mandani.

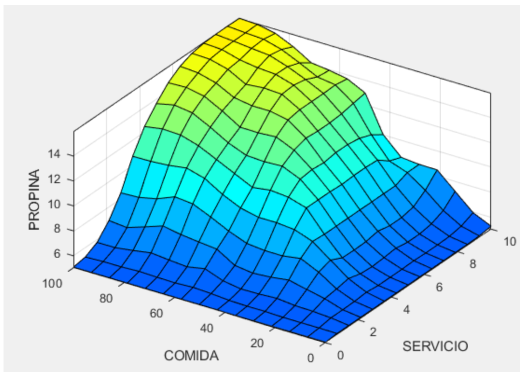
### 2.3. Reglas de inferencia.

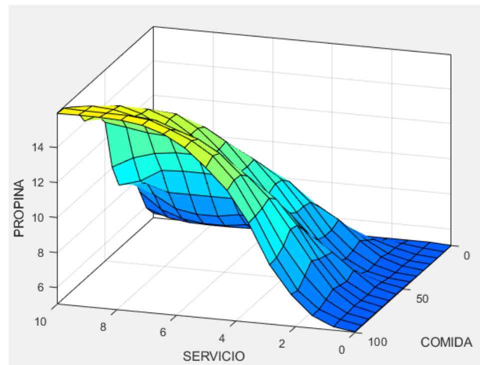
A continuación se muestran las doce reglas que se construyeron para este problema:

1. R1: Si **SERVICIO** es ***MALO*** y la **COMIDA** es ***MALA***, la **PROPINA** es ***BAJA***.
2. R2: Si **SERVICIO** es ***BUENO*** y la **COMIDA** es ***NORMAL***, la **PROPINA** es ***NORMAL***.
3. R3: Si **SERVICIO** es ***REGULAR*** y la **COMIDA** es ***NORMAL***, la **PROPINA** es ***NORMAL***.
4. R4: Si **SERVICIO** es ***REGULAR*** y la **COMIDA** es ***BUENA***, la **PROPINA** es ***NORMAL***.
5. R5: Si **SERVICIO** es ***BUENO*** y la **COMIDA** es ***EXCELENTE***, la **PROPINA** es ***ALTA***.
6. R6: Si **SERVICIO** es ***MALO*** y la **COMIDA** es ***EXCELENTE***, la **PROPINA** es ***BAJA***.
7. R7: Si **SERVICIO** es ***BUENO*** y la **COMIDA** es ***MALA***, la **PROPINA** es ***BAJA***.
8. R8: Si **SERVICIO** es ***MALO*** y la **COMIDA** es ***NORMAL***, la **PROPINA** es ***BAJA***.
9. R9: Si **SERVICIO** es ***MALO*** y la **COMIDA** es ***BUENA***, la **PROPINA** es ***BAJA***.
10. R10: Si **SERVICIO** es ***BUENO*** y la **COMIDA** es ***BUENA***, la **PROPINA** es ***ALTA***.
11. R11: Si **SERVICIO** es ***REGULAR*** y la **COMIDA** es ***MALA***, la **PROPINA** es ***BAJA***.
12. R12: Si **SERVICIO** es ***REGULAR*** y la **COMIDA** es ***EXCELENTE***, la **PROPINA** es ***ALTA***.

## 2.4. Gráficos del problema 1

La gráfica de superficie resultante de todo lo descrito previamente, es la siguiente:




Se observa como la gráfica producida por la combinación de distribuciones Gaussianas y la salidas singleton resulta tener un comportamiento suave en el descenso de sus valores.

## 2.5. Implementación del problema 1 paso a paso

Como se menciono en un inicio, el principal objetivo de esta actividad es implementar uno mismo el sistema de lógica difusa para comparar los resultados con respecto de los mostrados por el fuzzy toolbox de matula.

El primer paso identificar las variables de discurso SERVICIO, COMIDA y PROPINA para inicializarlas en 0.

Con referencia a lo explicado en el libro de Cisneros Parra (2004), se implemento la función de membresía Gaussiana tal y como la define a continuación:

$$f(x, \mu, \sigma) = e^{\left(\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

Posteriormente, se definieron los rangos de cada una de las funciones de membresía, dado que solo se usan funciones gaussianas y singletons, se dejaron los rangos tal cual se había presentado anteriormente:

1. Servicio: Malo ($\mu = 1{,}5$, $\sigma = 2$), Regular ($\mu = 5$, $\sigma = 1{,}5$) y Bueno ($\mu = 7{,}5$, $\sigma = 1{,}5$).

2. Comida: Malo ($\mu = 15$, $\sigma = 15$), Normal ($\mu = 45{,}5$, $\sigma = 15$), Buena ($\mu = 66$, $\sigma = 10$) y Excelente ($\mu = 90$, $\sigma = 15$).

3. Baja (valor de 5), Normal (valor de 12) y Alta (valor de 16).

Siguiendo con el proceso, fueron implementadas cada una las 12 reglas que ya se mostraron previamente, haciendo uso de la operación de conjuntos difusos $AND$, para esto, la activación de las reglas del sistema se determinan de la siguiente forma:

$$\text{Activación de regla} = \text{mín}(\mu_A(X), \mu_B(Y))$$

Por ultimo, ya que se contaban con las funciones de membresía y el sistema de reglas, dado que se van a trabajar con salidas singleton, la forma de deffuzificar las entradas para generar las salidas es mediante el método del centro de masa que se describe en el libro como sigue:

$$\text{Crisp} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mu(x_i)}$$

donde:

- $x_i$ son los valores discretos de la variable de salida.
- $\mu(x_i)$ es el grado de pertenencia de $x_i$ en la función de pertenencia de la salida difusa.
- $n$ es el número total de puntos discretos en el dominio de salida.

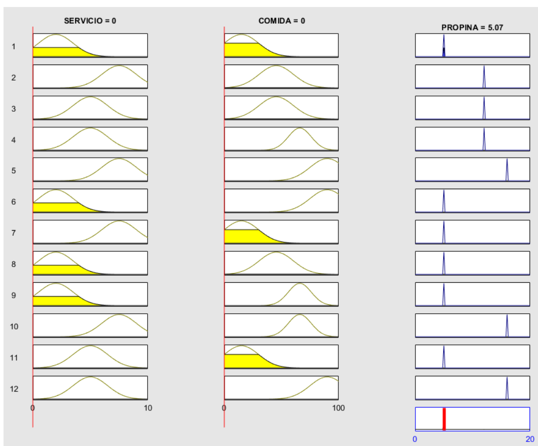
Una vez que el sistema esta listo y programado, se procede a hacer la comparativa con el toolbox de matlab.

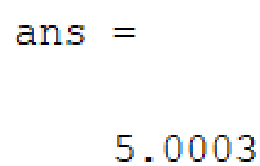
### 2.6. Comparativa para el problema 1

A continuación se presentan los resultados que da el sistema programado paso a paso en matlab contra el resultado para el mismo sistema por parte del fuzzy toolbox en 3 escenarios distintos.

#### 2.6.1. Caso mínimo

Para el caso mínimo, se propone un $SERVICIO = 0$ y una $COMIDA = 0$ para ver como se comportan ambas versiones ante situaciones tan extremas.

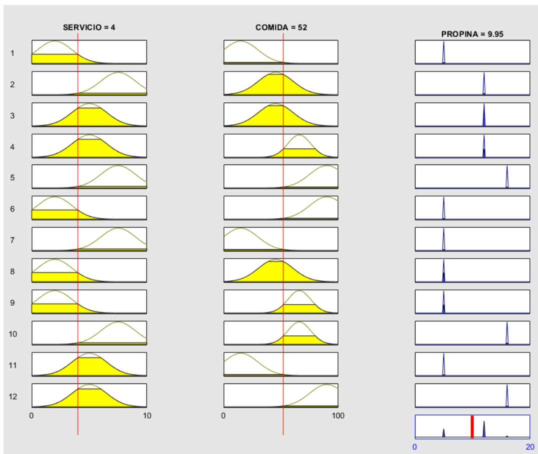


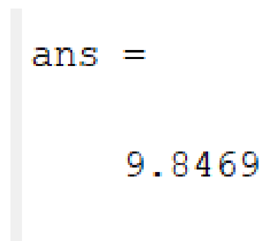




A la izquierda se muestran los resultados del toolbox y a la derecha el resultado del sistema programado paso a paso. El toolbox reporta un valor de 5.07 para el caso planteado, mientras que el sistema programado paso a paso muestra un valor de 5.0003. La diferencia entre ambos casos es mínima (menos de una unidad), por lo que se puede afirmar que llegan al mismo resultado. Un servicio de 0 y una comida de 0 llegan a dar como resultado una propina de 5.035 % en promedio (baja).

### 2.6.2. Caso medio

Para el caso mínimo, se propone un $SERVICIO = 4$ y una $COMIDA = 52$ para ver como se comportan ambas versiones ante situación media.

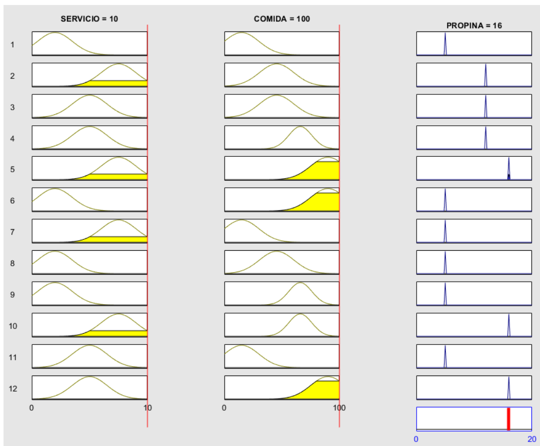



A la izquierda se muestran los resultados del toolbox y a la derecha el resultado del sistema programado paso a paso. El toolbox reporta un valor de 9.95 para el caso planteado, mientras que el sistema programado paso a paso muestra un valor de 9.8469. La diferencia entre ambos casos es mínima (menos de una unidad), por lo que se puede afirmar que llegan al mismo resultado. Un servicio de 4 y una comida de 52 llegan a dar como resultado una propina de 9.9 % en promedio (media).

### 2.6.3. Caso máximo

Para el caso mínimo, se propone un $SERVICIO = 10$ y una $COMIDA = 100$ para ver como se comportan ambas versiones ante situaciones tan extremas.




```
ans =

    15.9992
```

A la izquierda se muestran los resultados del toolbox y a la derecha el resultado del sistema programado paso a paso. El toolbox reporta un valor de 16 para el caso planteado, mientras que el sistema programado paso a paso muestra un valor de 15.9992. La diferencia entre ambos casos es mínima, por lo que se puede afirmar que llegan al mismo resultado. Un servicio de 10 y una comida de 100 llegan a dar como resultado una propina del 16 % (Alta) haciendo el redondeo.

# 3. Problema 2: Problema del confort

## 3.1. Explicación del Problema

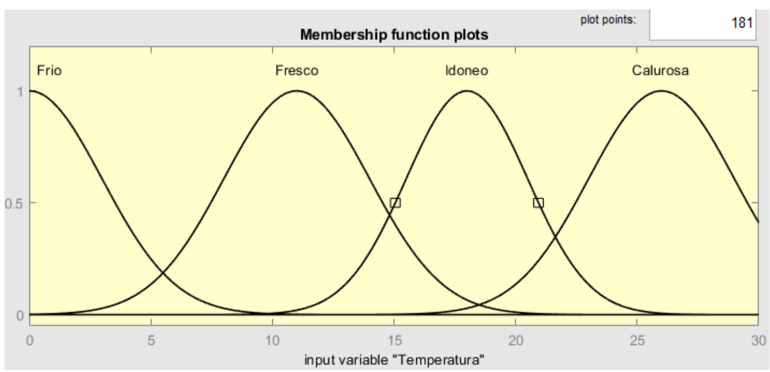
Se tiene el problema más especifico de determinar el confort que tiene una persona dadas las variables de temperatura y humedad en el ambiente.

En la tarea 1, se hizo la labor de probar con distintas combinaciones de funciones de membresía y parámetros para suavizar lo más posible la curva, a continuación se muestra el mejor caso con salidas singleton al que se llego después de dichas experimentaciones:

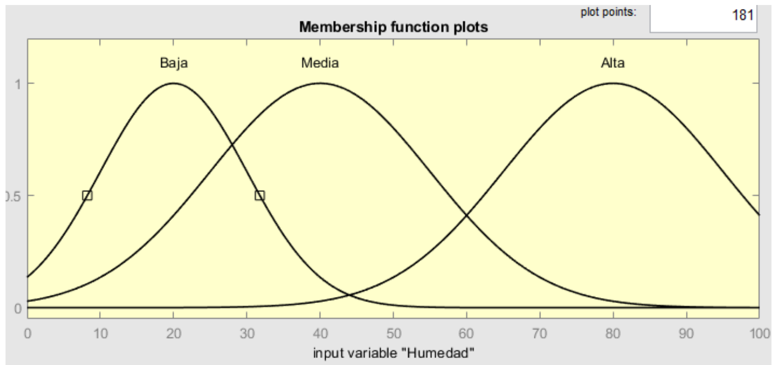
## 3.2. Variables y sus codificaciones

A continuación se listan los valores de las variables lingüísticas que se propusieron para TEMPERATURA, HUMEDAD y COMFORT como sigue:

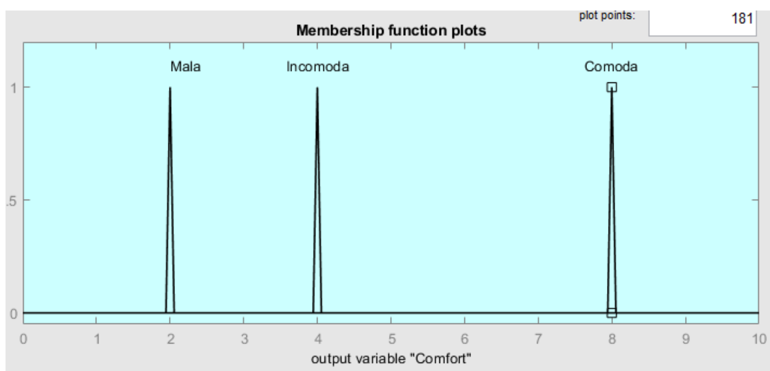
1. Temperatura: Frio ($\mu = 0$, $\sigma = 3$), Fresco ($\mu = 11$, $\sigma = 3$), Idóneo ($\mu = 18$, $\sigma = 2{,}5$) y Calurosa ($\mu = 26$, $\sigma = 3$).



2. Humedad: Baja ($\mu = 20$, $\sigma = 10$), Media ($\mu = 40$, $\sigma = 15$) y Alta ($\mu = 80$, $\sigma = 15$).




3. Confort: Malo (Valor = 2), Incomodo (Valor = 4) y Comoda (Valor = 2).




Las funciones de membresía de TEMPERATURA y HUMEDAD fueron modeladas con Gaussianas, mientras que la salida de CONFORT fue modelada con singletons (una triangular modificada en 1 solo valor) para mantener el sistema *sencillo* y por su naturaleza discreta.

Se mantuvo el método de desfuzzificación del centroide (centro de masa) para todas las funciones con la inferencia de Mandani.

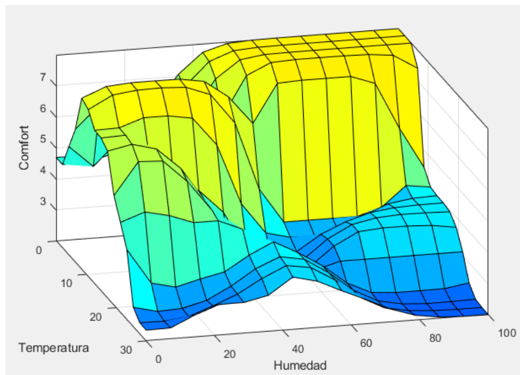
## 3.3. Reglas de inferencia.

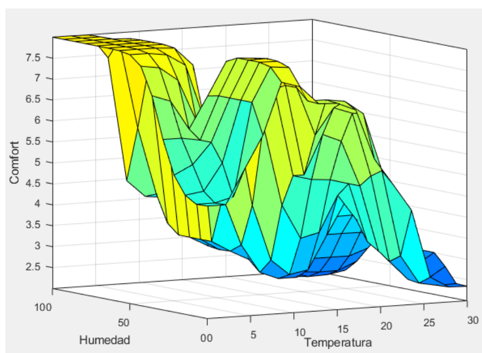
A continuación se muestran las 10 reglas que se construyeron para este problema:

1. R1: Si **TEMPERATURA** es ***FRÍO*** y la **HUMEDAD** es ***BAJA***, el **CONFORT** es ***INCÓMODA***.
2. R2: Si **TEMPERATURA** es ***FRESCO*** y la **HUMEDAD** es ***BAJA***, el **CONFORT** es ***CÓMODA***.
3. R3: Si **TEMPERATURA** es ***IDÓNEO*** y la **HUMEDAD** es ***BAJA***, el **CONFORT** es ***CÓMODA***.
4. R4: Si **TEMPERATURA** es ***FRÍO*** y la **HUMEDAD** es ***MEDIA***, el **CONFORT** es ***CÓMODA***.
5. R5: Si **TEMPERATURA** es ***IDÓNEO*** y la **HUMEDAD** es ***MEDIA***, el **CONFORT** es ***MALA***.
6. R6: Si **TEMPERATURA** es ***FRÍO*** y la **HUMEDAD** es ***BAJA***, el **CONFORT** es ***INCÓMODA***.
7. R7: Si **TEMPERATURA** es ***IDÓNEO*** y la **HUMEDAD** es ***ALTA***, el **CONFORT** es ***INCÓMODA***.
8. R8: Si **TEMPERATURA** es ***CALUROSA*** y la **HUMEDAD** es ***BAJA***, el **CONFORT** es ***MALA***.
9. R9: Si **TEMPERATURA** es ***CALUROSA*** y la **HUMEDAD** es ***MEDIA***, el **CONFORT** es ***INCÓMODA***.
10. R10: Si **TEMPERATURA** es ***CALUROSA*** y la **HUMEDAD** es ***ALTA***, el **CONFORT** es ***MALA***.

## 3.4. Gráficos del problema 2

La gráfica de superficie resultante del sistema que modela el problema del confort térmico es la siguiente:




Se observa como la gráfica producida por la combinación de distribuciones Gaussianas y la salidas presenta cierto comportamiento suave, en la forma de sus descensos, pero aun así presenta cambios abruptos en algunas regiones que no son deseables.

### 3.5. Implementación del problema 2 paso a paso

Como se menciono en un inicio, el principal objetivo de esta actividad es implementar uno mismo el sistema de lógica difusa para comparar los resultados con respecto de los mostrados por el fuzzy toolbox de matlab.

El primer paso identificar las variables de discurso TEMPERATURA, HUMEDAD y CONFORT para inicializarlas en 0.

Con referencia a lo explicado en el libro de Cisneros Parra (2004), se implemento la función de membresía Gaussiana tal y como la define a continuación:

$$f(x, \mu, \sigma) = e^{\left(\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

Posteriormente, se definieron los rangos de cada una de las funciones de membresía, dado que solo se usan funciones gaussianas y singletons, se dejaron los rangos tal cual se había presentado anteriormente:

1. Temperatura: Frio ($\mu = 0$, $\sigma = 3$), Fresco ($\mu = 11$, $\sigma = 3$), Idóneo ($\mu = 18$, $\sigma = 2{,}5$) y Calurosa ($\mu = 26$, $\sigma = 3$).
2. Humedad: Baja ($\mu = 20$, $\sigma = 10$), Media ($\mu = 40$, $\sigma = 15$) y Alta ($\mu = 80$, $\sigma = 15$).
3. Confort: Malo (Valor = 2), Incomodo (Valor = 4) y Comoda (Valor = 2).

Siguiendo con el proceso, fueron implementadas cada una las 12 reglas que ya se mostraron previamente, haciendo uso de la operación de conjuntos difusos $AND$, para esto, la activación de las reglas del sistema se determinan de la siguiente forma:

$$\text{Activación de regla} = \text{mín}(\mu_A(X), \mu_B(Y))$$

Por ultimo, ya que se contaban con las funciones de membresía y el sistema de reglas, dado que se van a trabajar con salidas singleton, la forma de deffuzificar las entradas para generar las salidas es mediante el método del centro de masa que se describe en el libro como sigue:

$$\text{Crisp} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mu(x_i)}$$

donde:

- $x_i$ son los valores discretos de la variable de salida.
- $\mu(x_i)$ es el grado de pertenencia de $x_i$ en la función de pertenencia de la salida difusa.
- $n$ es el número total de puntos discretos en el dominio de salida.

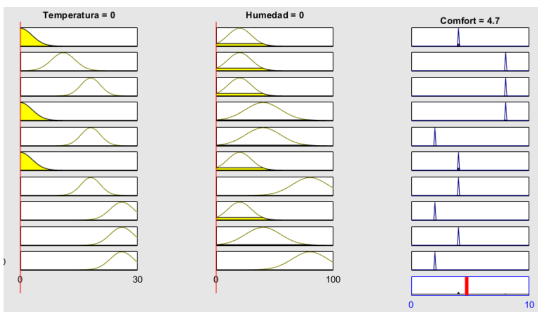
Una vez que el sistema esta listo y programado, se procede a hacer la comparativa con el toolbox de matlab.

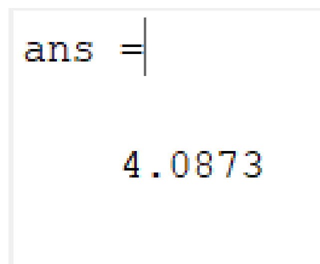
## 3.6. Comparativa para el problema 2

A continuación se presentan los resultados que da el sistema programado paso a paso en matlab contra el resultado para el mismo sistema por parte del fuzzy toolbox en 3 escenarios distintos.

### 3.6.1. Caso mínimo

Para el caso mínimo, se propone una $TEMPERATURA = 0$ y una $HUMEDAD = 0$ para ver como se comportan ambas versiones ante situaciones tan extremas.

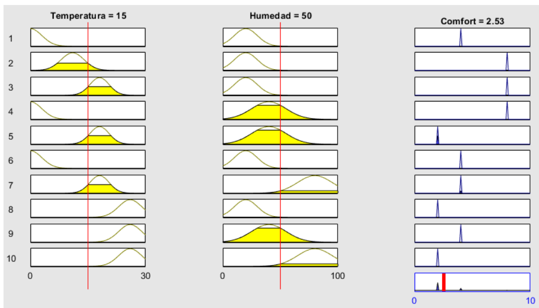


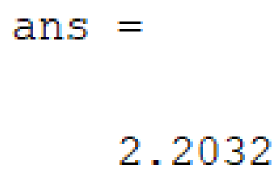




A la izquierda se muestran los resultados del toolbox y a la derecha el resultado del sistema programado paso a paso. El toolbox reporta un valor de 4.7 para el caso planteado, mientras que el sistema programado paso a paso muestra un valor de 4.087. La diferencia entre ambos casos es de menos de 0.7 (menos de una unidad), por lo que se puede afirmar que llegan al mismo resultado. Una temperatura de 0 y una humedad de 0 llegan a dar como resultado un confort térmico de de 4.4 en promedio (Incomoda).

### 3.6.2. Caso medio

Para el caso mínimo, se propone una $TEMPERATURA = 15$ y una $HUMEDAD = 50$ para ver como se comportan ambas versiones ante situación media.

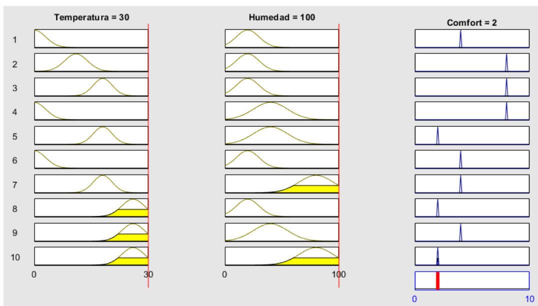


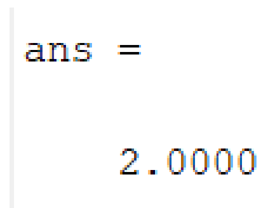




A la izquierda se muestran los resultados del toolbox y a la derecha el resultado del sistema programado paso a paso. El toolbox reporta un valor de 2.53 para el caso planteado, mientras que el sistema programado paso a paso muestra un valor de 2.2032. La diferencia entre ambos casos es de menos de 0.3 (menos de una unidad), por lo que se puede afirmar que llegan al mismo resultado. Una temperatura de 15 y una humedad de 50 llegan a dar como resultado un confort térmico de de 2.35 en promedio (Malo).

### 3.6.3. Caso máximo

Para el caso mínimo, se propone una $TEMPERATURA = 30$ y una $HUMEDAD = 100$ para ver como se comportan ambas versiones ante situaciones tan extremas.




A la izquierda se muestran los resultados del toolbox y a la derecha el resultado del sistema programado paso a paso. El toolbox reporta un valor de 2 para el caso planteado, mientras que el sistema programado paso a paso muestra un valor de 2. La diferencia entre ambos casos es nula, por lo que se puede afirmar que llegan al mismo resultado. Una temperatura de 30 y una humedad de 100 llegan a dar como resultado un confort térmico de de 2 (Malo).

# 4. Conclusiones

A rasgos generales, los resultados del sistema programado y del toolbox de matlab resultan muy similares y no se alejan en más de una unidad. Ambas propuestas son buenas, se tiene la sospecha que para el caso particular de la función de membresía Gaussiana puede que se este manejando alguna variante distinta entre el toolbox y el implementado, pero aun así llegan a resultados muy similares.

Por otro lado, la implementación del sistema supuso un reto en principio para asimilar toda la estructura que compone al sistema, el paso más complicado durante la realización de este trabajo fue el entender como deffuzificar la salida con el centro de masa. Una vez comprendido este punto, todo lo demás se traduce en la paciente y cuidadosa redacción de las funciones de membresía, la incorporación de sus parámetros y de la creación de las reglas.

## 5. Referencias

## Referencias


Cisneros Parra, J. U. (2004). *Introducción a la lógica difusa.* Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, San Luis Potosí.

# 6. Anexos

Este reporte se enviá con los códigos anexos que corresponden a:

1. Archivo .fiz del sistema difuso para el problema 1
2. Código en matlab para ejecutar el sistema difuso programado para el problema 1
3. Archivo .fiz del sistema difuso para el problema 2
4. Código en matlab para ejecutar el sistema difuso programado para el problema 2