

Actividad 2a - Mamdani Calderista

1. Introducción

En este trabajo se aborda el diseño de un sistema de inferencia difusa tipo Mamdani, cuyo objetivo es automatizar la regulación de la llama en una caldera. La automatización se basa en dos variables de entrada:

- La **temperatura exterior** (ambiente del edificio)
- La **temperatura interior** (dentro de la caldera)

La variable de salida es el **tamaño de la llama**, que controla el nivel de combustión.

Este sistema busca reemplazar el trabajo manual de un calderista utilizando lógica difusa, una herramienta útil en contextos con información imprecisa o ambigua, como es el caso del control térmico.

2. Metodología

2.1. Definición de variables

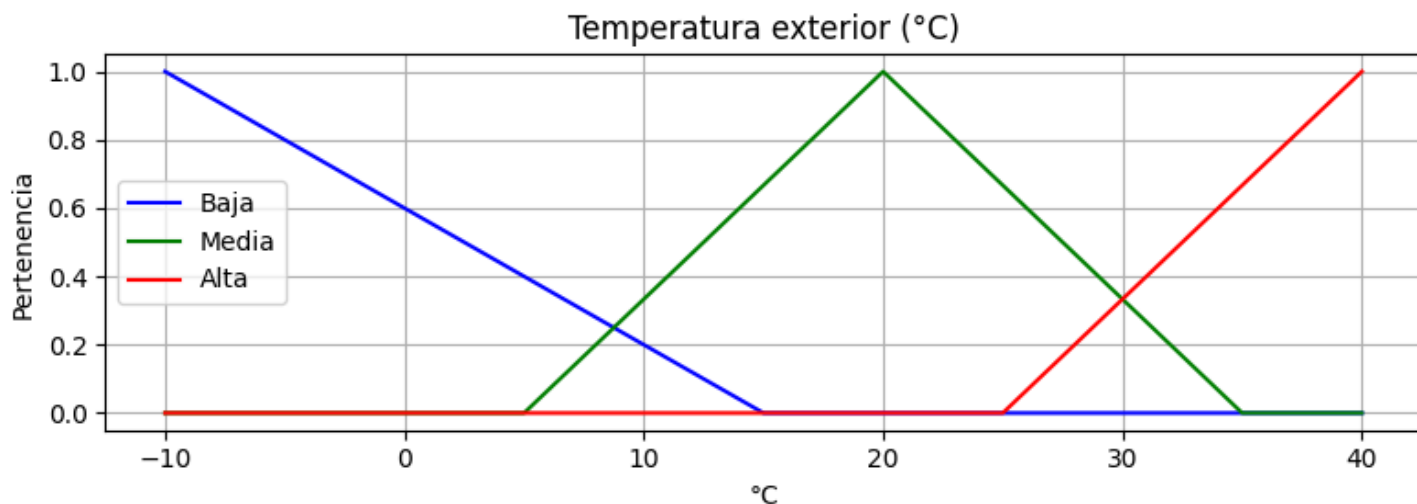
Se definieron las siguientes variables con sus respectivos rangos:

Variable	Rango	Unidades
Temperatura exterior	[-10, 40]	°C
Temperatura interior	[20, 120]	°C
Tamaño de la llama	[0, 10]	Valor adimensional (0=apagada, 10=máxima)

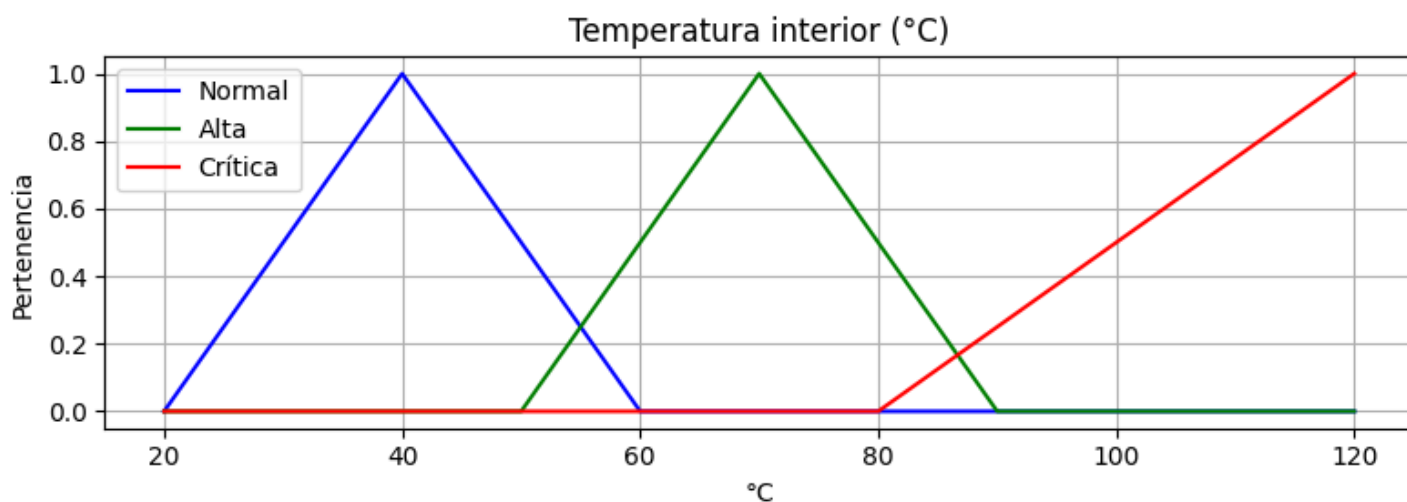
2.2. Funciones de pertenencia

Para cada variable, se definieron funciones de pertenencia triangulares, siguiendo criterios cualitativos:

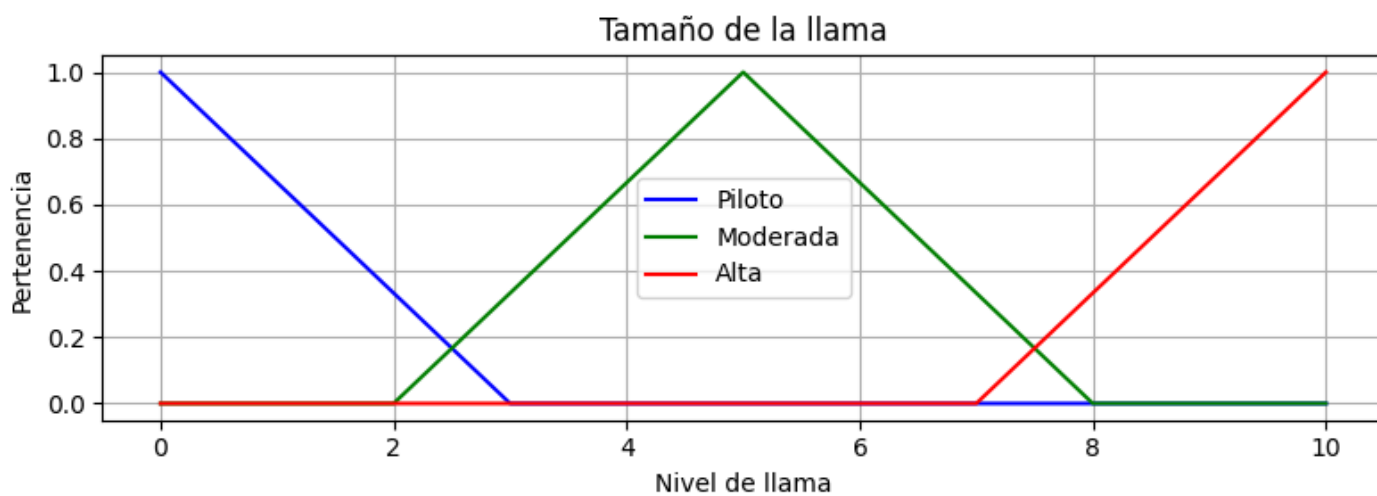
- **Temperatura exterior:** baja, media, alta



- **Temperatura interior:** normal, alta, crítica



- **Tamaño de llama:** piloto, moderada, alta



2.3. Reglas de inferencia difusa

Se definieron 9 reglas de inferencia difusa para combinar las entradas y determinar el tamaño de la llama.

Estas reglas son:

Regla	IF	Temperatura exterior	Operador Lógico	Temperatura interior	Implicación	Tamaño de llama
1	IF	Baja	AND	Normal	THEN	Alta
2	IF	Baja	AND	Alta	THEN	Moderada
3	IF	Baja	AND	Crítica	THEN	Piloto
4	IF	Media	AND	Normal	THEN	Moderada
5	IF	Media	AND	Alta	THEN	Piloto
6	IF	Media	AND	Crítica	THEN	Piloto
7	IF	Alta	AND	Normal	THEN	Piloto
8	IF	Alta	AND	Alta	THEN	Piloto
9	IF	Alta	AND	Crítica	THEN	Piloto

2.4. Agregación y Defuzzificación

Una vez definidas y evaluadas las **reglas de inferencia del sistema**, se procede a la etapa de **agregación**, donde se combinan las salidas difusas de todas las reglas activadas. En este caso, el sistema consta de 9 reglas, cada una correspondiente a una combinación de estados de la temperatura exterior e interior.

Cada regla activa una región determinada de la **variable de salida** (el tamaño de la llama), generando una función de pertenencia recortada en función del grado de verdad de las condiciones de entrada. **Estas salidas parciales se superponen**, y la agregación consiste en unificar todas estas contribuciones en una única función de salida difusa. Esto se realiza tomando, punto a punto, el máximo valor de pertenencia entre todas las reglas activadas.

Como resultado, se obtiene una **curva compuesta** que representa la información combinada de todas las reglas.

Una vez que se tiene esta función agregada, se debe **transformar** este **resultado difuso** en un valor numérico concreto que pueda ser interpretado por un sistema físico (por ejemplo, el nivel de combustible para mantener la llama). Esta operación se denomina **defuzzificación**. Para este trabajo se utilizó el **método del centroide** (o centro de masas), que es uno de los métodos más comunes y representativos en sistemas Mamdani. Este

método busca el punto en el eje horizontal (universo de discurso de la variable de salida) que divide el área bajo la curva agregada en dos partes de igual momento. En otras palabras, calcula el "equilibrio" de la figura formada por el área de la función de pertenencia resultante.

Matemáticamente, se expresa como:

Donde:

$$\text{Salida} = \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx}$$

- x representa los valores posibles de la variable de salida (en este caso, el tamaño de la llama).
- $\mu(x)$ es el valor de pertenencia correspondiente a cada x en la función agregada.

El resultado de esta operación es un único valor crisp que indica el tamaño final recomendado para la llama, de acuerdo con la combinación actual de condiciones de temperatura. Este valor corresponde a un punto sobre el eje x y representa la salida final del sistema.

3. Resultados

Para los siguientes ejemplos de entrada se obtuvieron los respectivos valores para la variable de salida.

Para Temperatura exterior Baja se eligió 0°C

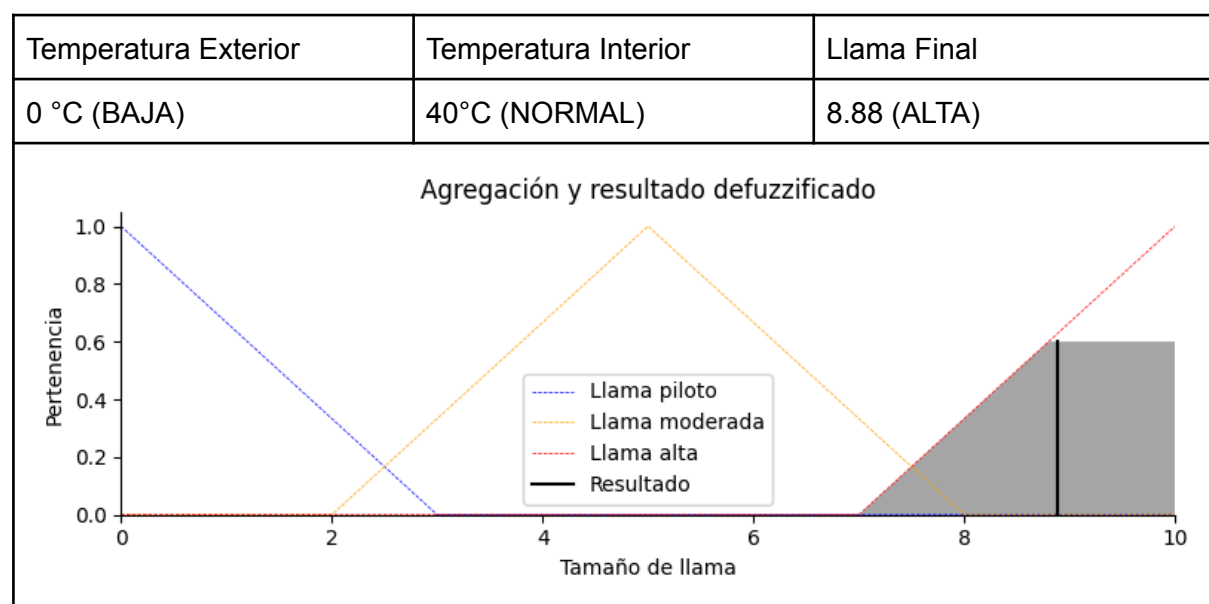
Para Temperatura exterior Media se eligió 20°C

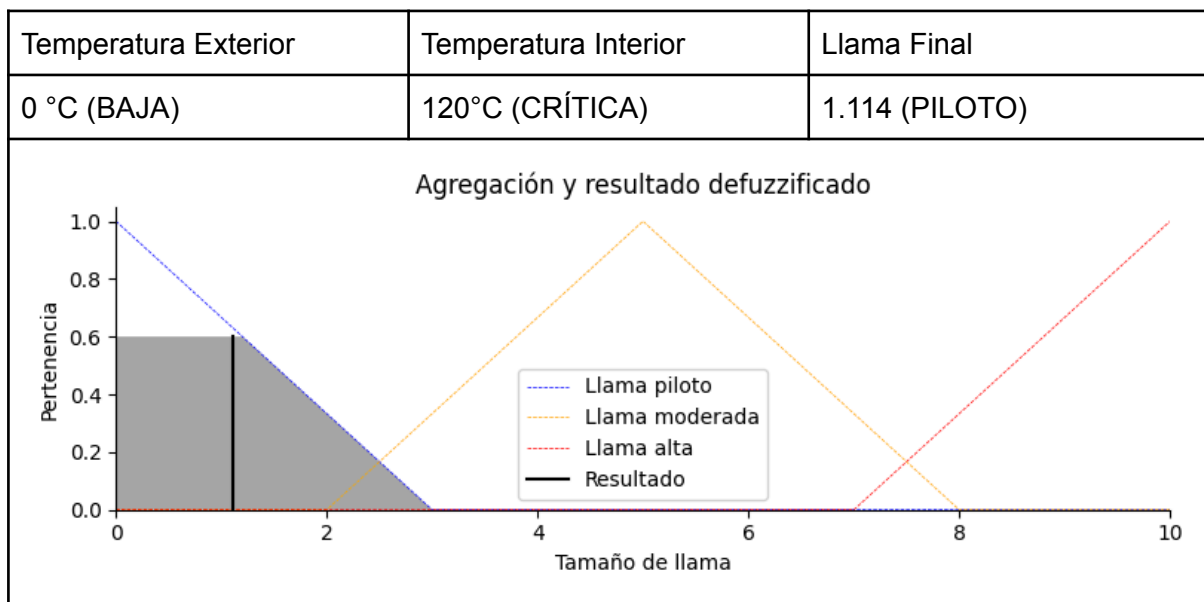
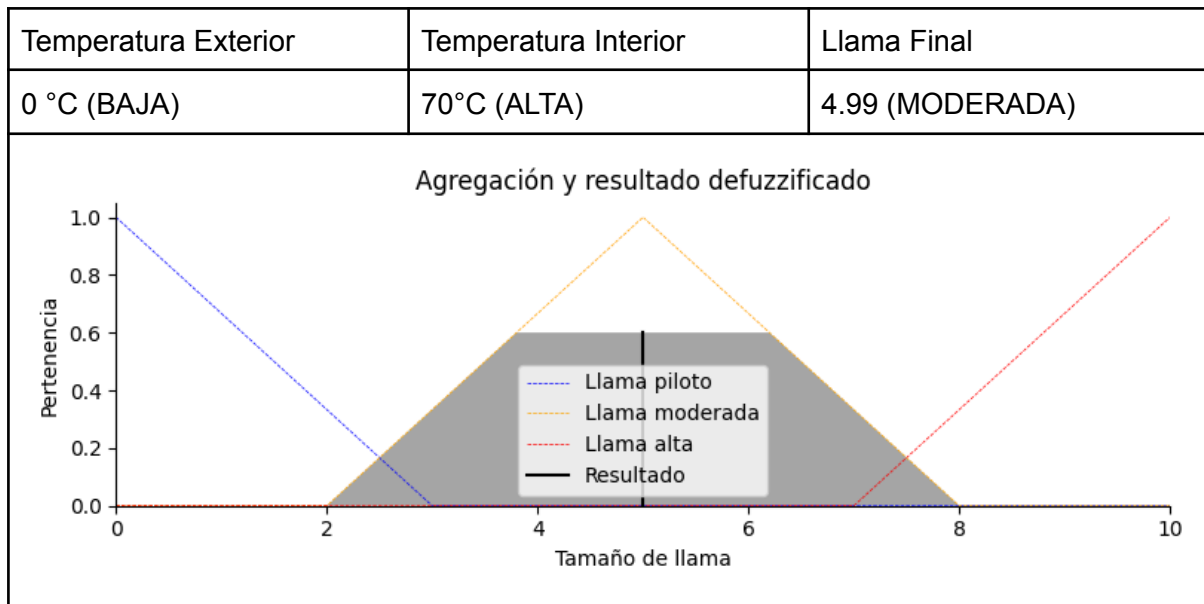
Para Temperatura exterior Alta se eligió 35°C

Para Temperatura interior Normal se eligió 40°C

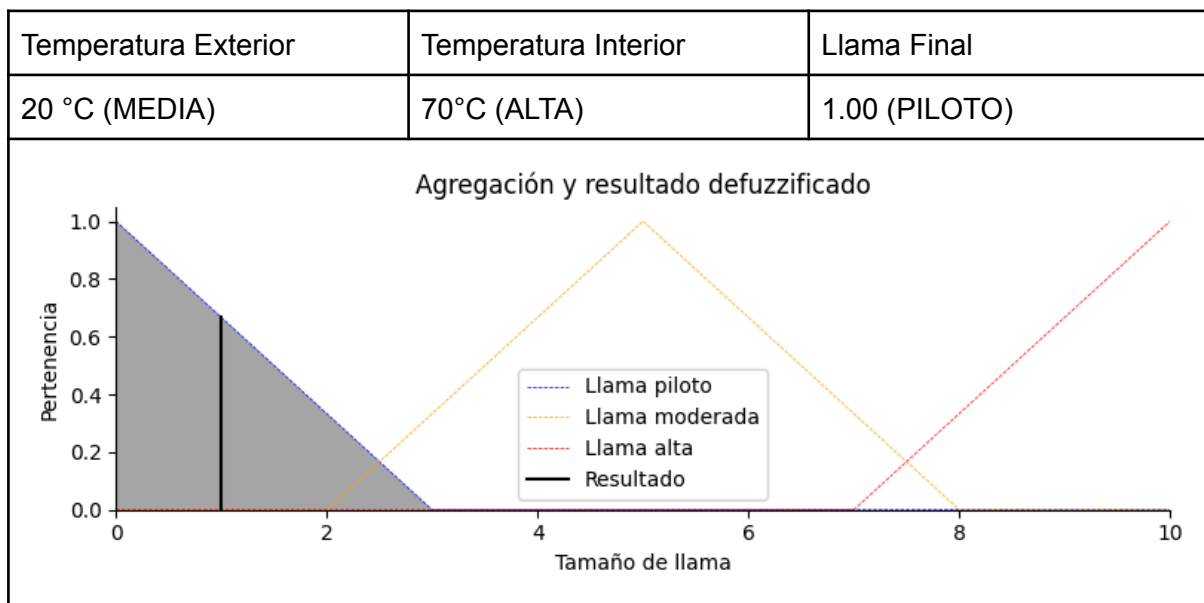
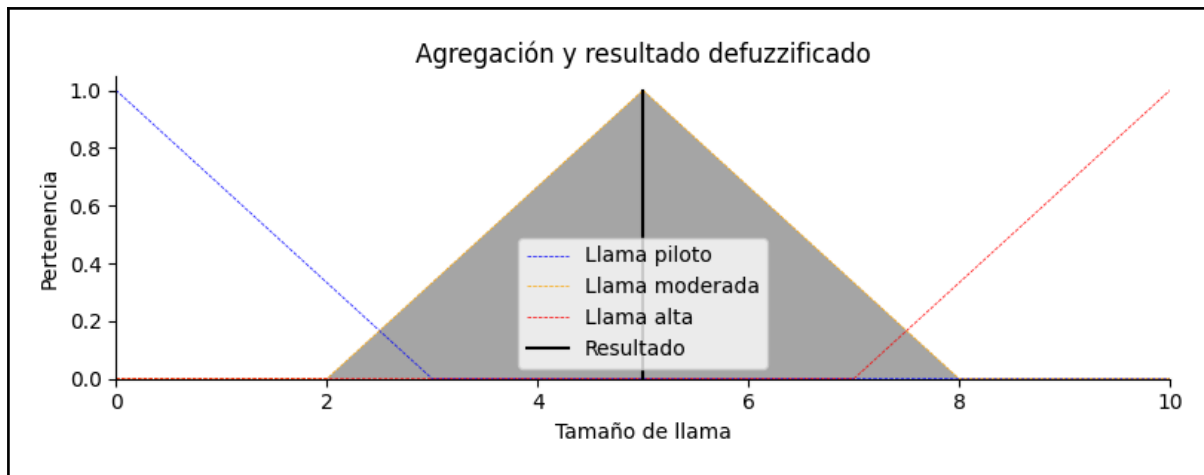
Para Temperatura interior Alta se eligió 70°C

Para Temperatura interior Crítica se eligió 120°C

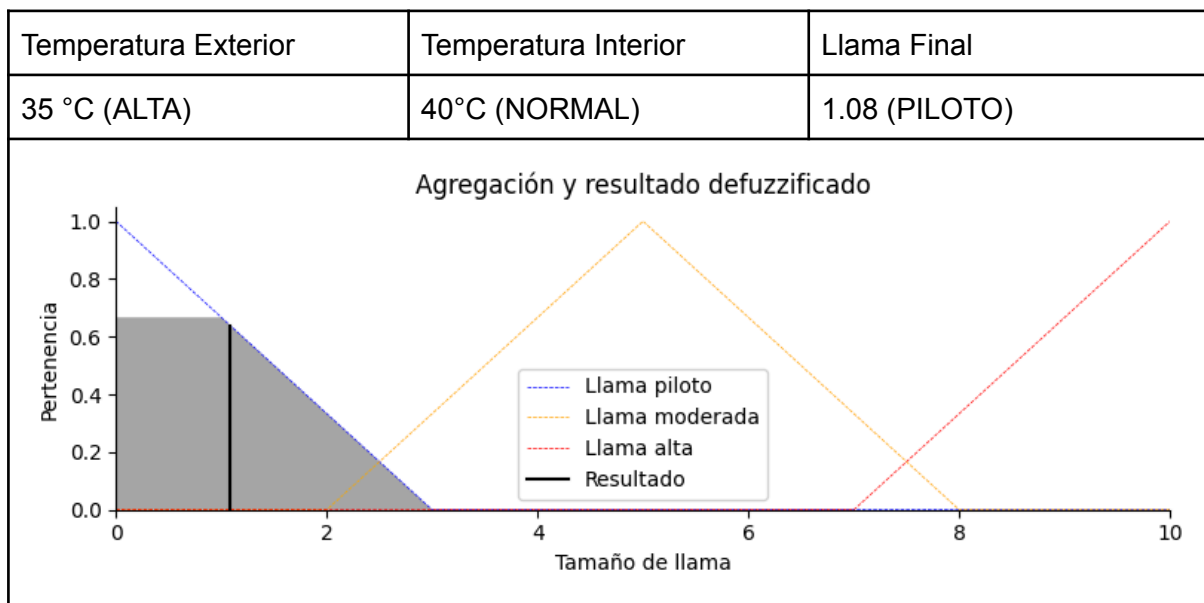
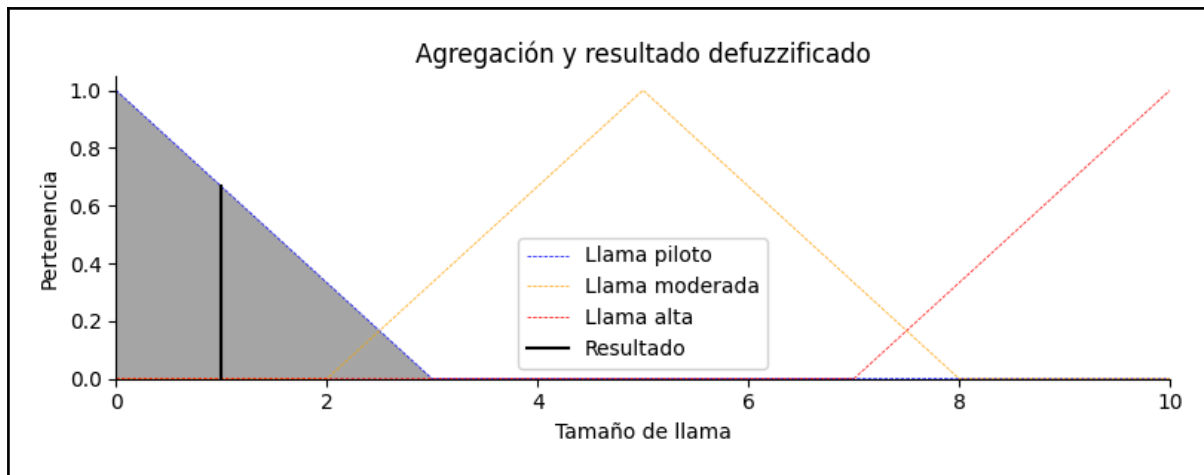




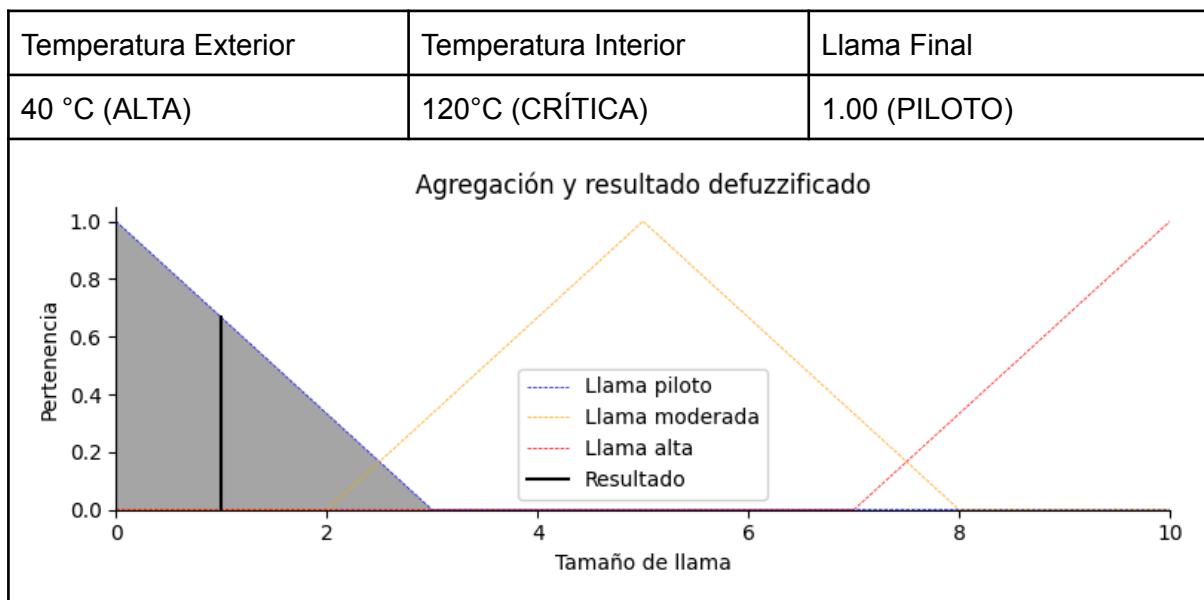
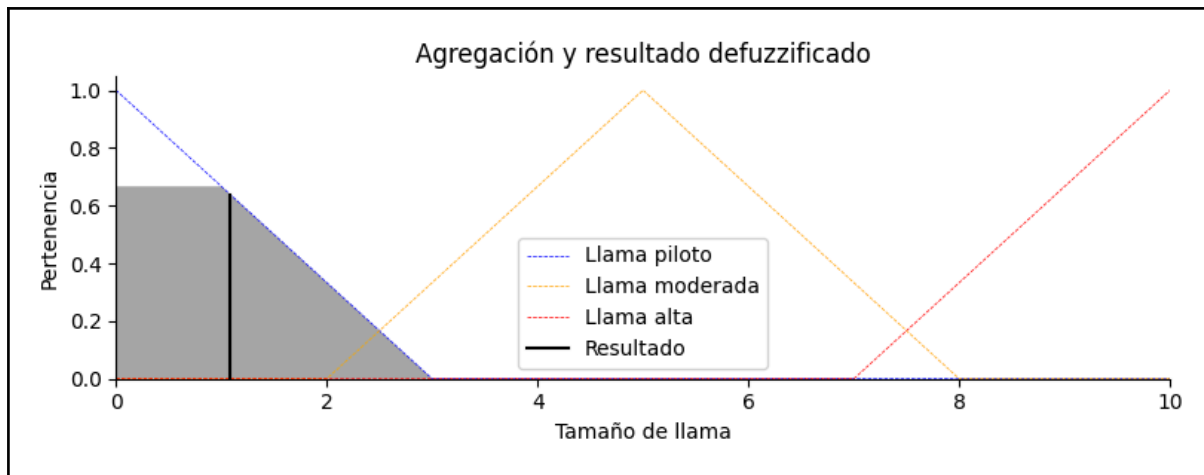
Temperatura Exterior	Temperatura Interior	Llama Final
20 °C (MEDIA)	40°C (NORMAL)	5.00 (MODERADA)



Temperatura Exterior	Temperatura Interior	Llama Final
20 °C (MEDIA)	120°C (CRÍTICA)	1.00 (PILOTO)



Temperatura Exterior	Temperatura Interior	Llama Final
35 °C (ALTA)	70°C (ALTA)	1.08 (PILOTO)



4. Conclusiones

- El sistema difuso Mamdani permite modelar de forma intuitiva y flexible situaciones en las que intervienen variables imprecisas o cualitativas.
- A través de funciones de pertenencia y reglas lingüísticas, se logró automatizar el control del tamaño de la llama.
- La solución es interpretable y puede adaptarse fácilmente si cambian las condiciones del entorno o las necesidades del calderista.
- La lógica difusa se mostró especialmente útil en esta tarea, al permitir combinar múltiples condiciones con transiciones suaves entre estados.