



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

PROYECTO DE RAZONAMIENTO APROXIMADO

DESARROLLO DE UN SISTEMA BORROSO

MICHAEL LAUDRUP LUIS GONZÁLEZ

CURSO 2025 / 2026

PROFESOR: JOSE ANGEL OLIVAS VARELA

En Barcelona, a 01 de octubre de 2025

1. Propuesta de dominio

Friedrich Wilhelm Nietzsche fue un filósofo contemporáneo que afirmaba en una de sus frases más célebres que “Dios ha muerto” y con el su dogma; o lo que es lo mismo, su sistema de creencias y normas. Ante este nuevo escenario ¿Qué rige el comportamiento de la sociedad? ¿Qué valores o creencias pueden guiarnos u orientarnos hacia un buen camino?

Sin lugar a duda, vivimos en una era en la que estamos abrumados por las infinitas posibilidades y oportunidades, donde la cantidad de información, de opiniones e ideologías se diversifica y multiplica a diario, así como la cantidad de decisiones que debemos tomar.

El **objetivo** de nuestro sistema experto es ayudarnos a decidir si emprender o no una acción vital/proyecto (p. ej., empezar un máster, cambiar de trabajo, iniciar un hábito), combinando valores personales con coste y beneficio esperados, sirviendo como una guía que orienta a nuestro comportamiento y que rige bajo que valores operamos.

El alcance de este sistema experto abarca a la población adulta general. Su principal limitación es la subjetividad del dominio: las conclusiones dependen en gran medida de la experiencia personal. Es por ello que este trabajo se orienta principalmente a fines académicos y demostrativos, más que a un uso práctico en la vida cotidiana. Se pretende demostrar el potencial de la lógica borrosa para poder formalizar problemas con un grado de subjetividad y simbolismo muy alto.

2. Hechos

ENTRADAS			
Concepto	Posibles valores	Acrónimo	Explicación
Esfuerzo requerido	bajo, medio, alto	ES	Coste personal/tiempo/energía necesarios
Horizonte temporal recompensa	corto-plazo, medio-plazo, largo-plazo	H	¿Cuándo llegan los beneficios?
¿está bien visto socialmente?	bien-visto, neutral, mal-visto,	AS	Normalmente cosas como fumar, beber, están mal vistos socialmente mientras que estudiar, hacer deporte, tener una alimentación saludable si están bien vistos.
Potenciales beneficios	Bajos, Equilibrados, Altos, excesivamente altos	PB	Define si los beneficios que obtenemos son demasiado altos o bajos
SALIDAS			
Concepto	Posibles valores		Explicación
Acción que tomar	descartar Reflexionar Iniciar		¿debemos descartar esta acción, reflexionar aún más sobre ella o iniciarla?

3. Reglas

Antes de definir las reglas es importante señalar que las reglas aquí propuestas no pretenden constituir verdades universales ni recetas aplicables en todos los casos. Dada la naturaleza del dominio —la toma de decisiones vitales y personales—, es inevitable que existan múltiples **contraejemplos** y excepciones que invaliden o relativicen las conclusiones del sistema. Una misma acción puede ser valorada de manera muy distinta según el contexto cultural, social, temporal o incluso emocional de la persona que la emprende.

Además, los conceptos utilizados (como “alto esfuerzo”, “beneficio bajo” o “aceptación social”) son **subjetivos y difusos**, y su interpretación varía entre individuos e incluso para una misma persona en diferentes momentos de su vida. Por tanto, este sistema experto no debe ser considerado una herramienta práctica para la toma de decisiones reales, sino más bien un **ejercicio académico y demostrativo**.

- **R1:** Si el nivel de esfuerzo es alto y la recompensa es a largo plazo entonces iniciar.
 - **Justificación:** Lo que requiere esfuerzo y da beneficios a largo plazo suele ser positivo y no tener consecuencias negativas.
 - **Ejemplos que validan esta regla:** Estudiar una carrera universitaria, hacer deporte, comer saludable, etc.
- **R2:** Si el nivel de esfuerzo es bajo y tiene beneficios a corto plazo. Acción recomendada = Descartar
 - **Justificación:** Normalmente lo que no requiere esfuerzo y da beneficios en el corto plazo suele tener implicaciones negativas en el medio o largo plazo.
 - **Ejemplos que validan esta regla:** Difundir contenido sensacionalista o morboso para ganar visitas exprés, Comprar seguidores falsos en LinkedIn/GitHub para aparentar reputación → poco esfuerzo, beneficios inmediatos (más visibilidad), pero poco ético y con consecuencias

negativas. Usar un modelo “prefabricado” de Internet sin validación ni ajuste para una demo importante → da resultados rápidos, pero arriesga la calidad y credibilidad del trabajo.

- **R3:** Si la aceptación social es baja o los beneficios son bajos, entonces acción **recomendada es descartar**.
 - **Justificación:** Normalmente las actividades mal vistas socialmente son perjudiciales (fumar, beber, apostar, etc.) o si no nos reporta buenos beneficios no vale la pena invertir energía y recursos en la acción.
 - **Ejemplos que validan esta regla:** Empezar un proyecto personal muy exigente (por ejemplo, escribir una novela) pero sin tener público, editor ni expectativas de publicación → mucho esfuerzo, beneficios inciertos y bajos a largo plazo
- **R4:** Si el nivel de potenciales beneficios es alto pero la aceptación social es media, entonces se debe **reflexionar**.
 - **Justificación:** No se descarta de inmediato porque el gran beneficio la hace atractiva. Sin embargo, no se inicia sin más porque la tibia recepción social puede ser una señal de **riesgos éticos, controversias o consecuencias imprevistas**.
 - **Ejemplos que validan esta regla:** Desarrollar una tecnología disruptiva (ej. una IA que automatiza un sector creativo). Los potenciales beneficios son altísimos (progreso, eficiencia), pero la aceptación social puede ser media o ambivalente por el miedo a la pérdida de empleos. El sistema recomienda "Reflexionar" sobre las implicaciones éticas y el impacto social antes de proceder.

- **R5:** Si la **aceptación social es bien vista** y los **beneficios son equilibrados**, entonces la acción recomendada es **Reflexionar**.
 - **Justificación:** Aunque la acción sea socialmente aceptada, si los beneficios son solo equilibrados (no muy altos ni muy bajos), conviene reflexionar antes de actuar, porque puede que no compense el esfuerzo.
 - **Ejemplos:** Publicar un proyecto académico correcto en una red profesional: es bien visto socialmente, pero los beneficios son limitados (visibilidad moderada).

De este modo, el sistema de reglas no pretende resolver el vacío existencial que Nietzsche describe, sino que ofrece un **marco práctico** para que el individuo pueda construir su propia brújula de valores y tomar decisiones coherentes en un mundo que carece de guías universales.

4. Ejemplos en representación no continua

4.1. Introducción.

Con el fin de no extender demasiado la memoria, en primer lugar, haremos la formalización de las reglas mediante relaciones borrosas y en el apartado 4.8 aplicaremos un ejemplo concreto que disparara una de las reglas.

4.2. Operadores borrosos

En este caso el motor de inferencia utiliza el mínimo como T-norma para expresar el operador AND (\wedge), el máximo como T-conorma para expresar el operador OR (\vee) y como función de implicación $I(a,b)=\max(1-a, b)$ es decir, se hará uso de la implicación de Kleene-Dienes que es coherente con el uso de la T-conorma de tipo máximo. Es decir, estamos usando una implicación de la familia de S-implicaciones (strong, asociadas a T-conormas).

4.3. Regla 1.

Recordemos que la regla en lenguaje natural era Si el nivel de esfuerzo es alto y la recompensa es a largo plazo entonces iniciar. Su formalización vendrá dada por:

$$ES=\text{alto} \wedge H=\text{largo-plazo} \Rightarrow A=\text{Iniciar}$$

Basándonos en las tablas del Anexo I tenemos que la representación del conjunto borroso discreto para las variables de la regla queda definida como:

- Esfuerzo alto: $\{0.7/1, 1/2\}$
- Largo plazo: $\{0.5/2, 1/3\}$
- Acción iniciar: $\{0.2/0.5, 1/1\}$

$$(0.7/1, 1/2) \wedge (0.5/2, 1/3) \rightarrow (0.2/0.5, 1/1)$$

		Horizonte temporal		
		2	3	
Esfuerzo	1	$\min(0.7, 0.5)$	$\min(0.7, 1.0)$	$\rightarrow (0.2/0.5, 1/1)$
	2	$\min(1.0, 0.5)$	$\min(1.0, 1.0)$	
		2	3	
	1	0.5	0.7	$\rightarrow (0.2/0.5, 1/1)$
	2	0.5	1.0	

		Resultado Acción	
Horizonte temporal / Esfuerzo		0.5	1
	(1,2)	$\max(1 - 0.5, 0.2)$	$\max(1 - 0.5, 1)$
	(1,3)	$\max(1 - 0.7, 0.2)$	$\max(1 - 0.5, 1)$
	(2,2)	$\max(1 - 0.5, 0.2)$	$\max(1 - 0.5, 1)$
	(2,3)	$\max(1 - 1.0, 0.2)$	$\max(1 - 0.5, 1)$

REGLA

$$\begin{matrix} & 0.5 & 1 \\ (1,2) & \begin{pmatrix} 0.5 & 1 \end{pmatrix} \\ (1,3) & \begin{pmatrix} 0.3 & 1 \end{pmatrix} \\ (2,2) & \begin{pmatrix} 0.5 & 1 \end{pmatrix} \\ (2,3) & \begin{pmatrix} 0.2 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

4.4. Regla 2

Recordemos que la regla en lenguaje natural era: Si el nivel de esfuerzo es bajo y tiene beneficios a corto plazo la acción recomendada es descartar. Su formalización vendrá dada por:

$$ES=bajo \wedge H=corto-plazo \Rightarrow A=\mathbf{Descartar}.$$

Basándonos en las tablas del Anexo I tenemos que la representación del conjunto borroso discreto para las variables de la regla queda definida como:

- Esfuerzo bajo: $\{1.0/0, 0.5/1, 0/2\}$
- Corto plazo: $\{1.0/1, 0.2/2, 0/3\}$
- Acción descartar: $\{1.0/0, 0.2/0.5\}$

$$(1.0/0, 0.5/1) \wedge (1.0/1, 0.2/2) \rightarrow (1.0/0, 0.2/0.5)$$

		Horizonte temporal	
Esfuerzo		1	2
	0	$\min(1, 1)$	$\min(1.0, 0.2)$
	1	$\min(0.5, 1)$	$\min(0.5, 0.2)$

$$\rightarrow (1.0/0, 0.2/0.5)$$

		Resultado Acción	
		0	0.5
Horizonte temporal / Esfuerzo	(0,1)	$\max(1 - 1, 1)$	$\max(1 - 1, 0.5)$
	(0,2)	$\max(1 - 0.2, 1)$	$\max(1 - 0.2, 0.5)$
	(1,1)	$\max(1 - 0.5, 1)$	$\max(1 - 0.5, 0.5)$
	(1,2)	$\max(1 - 0.2, 0.1)$	$\max(1 - 0.2, 0.5)$

REGLA

	0	0.5
(0,1)	1	0.5
(0,2)	1	0.8
(1,1)	1	0.5
(1,2)	1	0.8

4.5. Regla 3.

Recordemos que la regla en lenguaje natural era: Si la aceptación social es baja o los beneficios son bajos, entonces acción recomendada es descartar. Su formalización vendrá dada por:

$$AS=\text{mal-visto} \vee PB=\text{bajos} \Rightarrow A=\text{Descartar}$$

Basándonos en las tablas del Anexo I tenemos que la representación del conjunto borroso discreto para las variables de la regla queda definida como:

- **Mal visto socialmente:** $\{1.0/0, 0.2/1\}$
- **Potenciales beneficios bajos:** $\{1.0/1, 0.5/2, 0.1/3\}$
- **Acción descartar:** $\{1.0/0, 0.2/0.5\}$

$$(1.0/1, 0.5/2, 0.1/3) \vee (1.0/0, 0.2/1) \rightarrow (1.0/0, 0.2/0.5)$$

		Aceptación social	
		0	1
Potenciales beneficios	1	$\max(1.0, 1.0)$	$\max(1.0, 0.2)$
	2	$\max(0.5, 1.0)$	$\max(0.5, 0.2)$
	3	$\max(0.1, 1.0)$	$\max(0.1, 0.2)$
		$\rightarrow (1.0/0, 0.2/0.5)$	

		Acción	
		0	0.5
Poten Benefi Aceptacion Social	(1,0)	$\max(1 - 1, 1)$	$\max(1 - 1, 0.5)$
	(1,1)	$\max(1 - 1, 1)$	$\max(1 - 1, 0.5)$
	(2,0)	$\max(1 - 1, 1)$	$\max(1 - 1, 0.5)$
	(2,1)	$\max(1 - 0.5, 1)$	$\max(1 - 0.5, 0.5)$
	(3,0)	$\max(1 - 1, 1)$	$\max(1 - 1, 0.5)$
	(3,1)	$\max(1 - 0.2, 0.1)$	$\max(1 - 0.2, 0.5)$

REGLA

0	0.5
1	0.5
1	0.5
1	0.5
1	0.5
1	0.5
1	0.8

4.6. Regla 4.

Recordemos que la regla en lenguaje natural era: “Si el nivel de potenciales beneficios es alto pero la aceptación social es media, entonces se debe **reflexionar**”. Su formalización vendrá dada por:

$$PB=\text{altos} \wedge AS=\text{neutral} \rightarrow A=\text{Reflexionar}$$

- **Potenciales beneficios altos:** {0.4/3, 1.0/4, 0.3/5}.
- **Aceptación social neutral:** {1.0/1, 0.2/2}.
- **Acción reflexionar:** {0.3/0, 1.0/0.5, 0.3/1}.

$$(0.4/3, 1.0/4, 0.3/5) \wedge (1.0/1, 0.2/2) \rightarrow (0.3/0, 1.0/0.5, 0.3/1)$$

		Aceptación social	
		1	2
Potenciales beneficios	1	$\min(0.0, 1.0)$	$\min(0.0, 0.2)$
	2	$\min(0.0, 1.0)$	$\min(0.0, 0.2)$
	3	$\min(0.4, 1.0)$	$\min(0.4, 0.2)$
	4	$\min(1.0, 1.0)$	$\min(1.0, 0.2)$
	5	$\min(0.3, 1.0)$	$\min(0.3, 0.2)$

→ (0.3/0, 1.0/0.5, 0.3/1)

Resultado

		0	0.5	1
Pot. Benefi Acept social	(1,1)	$\max(1 - 0, 0.3)$	$\max(1 - 0, 1.0)$	$\max(1 - 0, 0.3)$
	(1,2)	$\max(1 - 0, 0.3)$	$\max(1 - 0, 1.0)$	$\max(1 - 0, 0.3)$
	(2,1)	$\max(1 - 0, 0.3)$	$\max(1 - 0, 1.0)$	$\max(1 - 0, 0.3)$
	(2,2)	$\max(1 - 0, 0.3)$	$\max(1 - 0, 1.0)$	$\max(1 - 0, 0.3)$
	(3,1)	$\max(1 - 0.4, 0.3)$	$\max(1 - 0.4, 1.0)$	$\max(1 - 0.4, 0.3)$
	(3,2)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$
	(4,1)	$\max(1 - 1.0, 0.3)$	$\max(1 - 1.0, 1.0)$	$\max(1 - 1.0, 0.3)$
	(4,2)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$
	(5,1)	$\max(1 - 0.3, 0.3)$	$\max(1 - 0.3, 1.0)$	$\max(1 - 0.3, 0.3)$
	(5,2)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$

REGLA

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0.6 & 1 & 0.6 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.3 & 1 & 0.3 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.7 & 1 & 0.7 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \end{pmatrix}$$

4.7. Regla 5.

Recordemos que la regla en lenguaje natural era: Si la **aceptación social es bien vista** y los **beneficios son equilibrados**, entonces la acción recomendada es **Reflexionar**. Su formalización vendrá dada por:

$$PB=\text{equilibrados} \wedge AS=\text{bien-visto} \rightarrow A=\text{Reflexionar}$$

- **Aceptación social bien vista:** {0.2/1, 1.0/2}
- **Potenciales beneficios equilibrados:** {0.2/1, 0.7/2, 1.0/3, 0.5/4, 0.2/5}
- **Acción reflexionar:** {0.3/0, 1.0/0.5, 0.3/1}.

$$(0.2/1, 0.7/2, 1.0/3, 0.5/4, 0.2/5) \wedge (0.2/1, 1.0/2) \rightarrow (0.3/0, 1.0/0.5, 0.3/1.0)$$

Aceptación social

$$\begin{matrix} \text{Potenciales} \\ \text{beneficios} \end{matrix} \begin{matrix} 1 & 2 \\ \begin{pmatrix} \min(0.2, 0.2) & \min(0.2, 1) \\ \min(0.7, 0.2) & \min(0.7, 1) \\ \min(1.0, 0.2) & \min(1.0, 1) \\ \min(0.5, 0.2) & \min(0.5, 1) \\ \min(0.2, 0.2) & \min(0.2, 1) \end{pmatrix} \end{matrix} \rightarrow (0.3/0, 1.0/0.5, 0.3/1.0)$$

		Resultado		
		0	0.5	1
Pot. Benefi	(1,1)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$
	(1,2)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$
	(2,1)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$
	(2,2)	$\max(1 - 0.7, 0.3)$	$\max(1 - 0.7, 1.0)$	$\max(1 - 0.7, 0.3)$
	(3,1)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$
	(3,2)	$\max(1 - 1.0, 0.3)$	$\max(1 - 1.0, 1.0)$	$\max(1 - 1.0, 0.3)$
	(4,1)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$
	(4,2)	$\max(1 - 0.5, 0.3)$	$\max(1 - 0.5, 1.0)$	$\max(1 - 0.5, 0.3)$
	(5,1)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$
	(5,2)	$\max(1 - 0.2, 0.3)$	$\max(1 - 0.2, 1.0)$	$\max(1 - 0.2, 0.3)$
Acept social				

REGLA

$$\begin{pmatrix} 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.3 & 1 & 0.3 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.3 & 1 & 0.3 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \\ 0.8 & 1 & 0.8 \end{pmatrix}$$

4.8. Hechos.

Vamos a analizar el hecho:

- El esfuerzo es muy alto y el horizonte temporal de la recompensa es a largo plazo.

De este hecho se dispararía la regla 1, que recordemos era:

$$ES=\text{alto} \wedge H=\text{largo-plazo} \Rightarrow \mathbf{A=Iniciar}$$

La matriz que definía esta regla era:

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 1 \\ 0.3 & 1 \\ 0.5 & 1 \\ 0.2 & 1 \end{pmatrix}$$

Recordemos que:

- Esfuerzo alto: $\{0.7/1, 1/2\}$
- Largo plazo: $\{0.5/2, 1/3\}$
- Acción iniciar: $\{0.2/0.5, 1/1\}$

Por lo que el hecho quedará como

$$ES=muy-alto \wedge H=largo-plazo$$

$$(0.7^2/1, 1^2/2) \wedge (0.5/2, 1/3) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \min(0.7^2, 0.5) & \min(0.7^2, 1) \\ \min(1^2, 0.5) & \min(1^2, 1) \end{pmatrix}$$

Aplicamos el producto cruz entre la regla R1 y el hecho del paso anterior dándonos como resultado:

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 1 \\ 0.3 & 1 \\ 0.5 & 1 \\ 0.2 & 1 \end{pmatrix} \odot (0.49 \quad 0.49 \quad 0.5 \quad 1)$$

$$(max(0.49, 0.3, 0.5, 0.2), max(0.49, 0.49, 0.5, 1)) = (0.5/0.5, 1/1)$$

5. Ejemplos en representación continua con números borrosos.

Para aplicar el enfoque tipo Mamdani primero hemos definido unas etiquetas lingüísticas que van a describir los estados de las variables en el apartado 2 de esta memoria, además para cada entrada (X_1, X_2, \dots, X_n) se ha de especificar la correspondiente etiqueta lingüística que define la salida Y, esto ya lo hacemos en el apartado 3 donde definimos la base de reglas de tipo “SI.... Y/O ENTONCES...”. También si analizamos el anexo II: Funciones de pertenencias continuas, podremos apreciar que ahí se definen los conjuntos borrosos continuos específicos con sus significados y etiquetas lingüísticas asociadas. En este epígrafe con el fin de no ser demasiados extensos nos limitaremos a especificar un hecho y ver que reglas se disparan y que resultado obtendríamos:

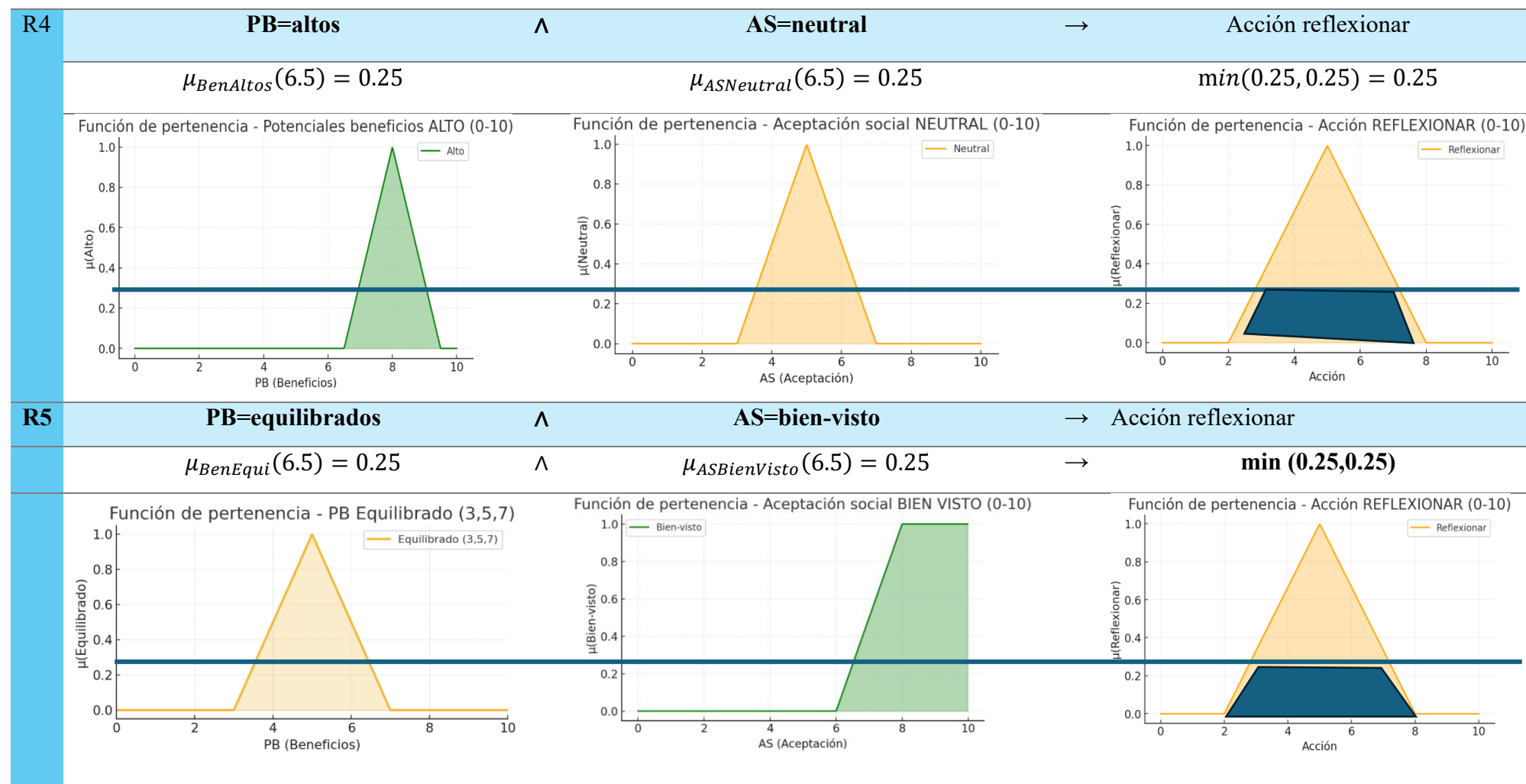
Sea el caso base donde se analiza la decisión de “crear un canal de Youtube educativo sobre IA”, una acción cuyos potenciales beneficios y aceptación social son percibidos, tras una encuesta, con un valor medio de 6.5. Al borrosificar (fuzzificar) este valor, sabemos que para los 'potenciales beneficios' se activan los conjuntos borrosos “Equilibrados” y “Altos”, mientras que para la 'aceptación social', los conjuntos asociados son “Neutral” y “Bien visto”. Fijándonos en los datos del Anexo II tendremos que:

- **PB=Equilibrados** $\rightarrow (3, 5, 7)$ entonces $\mu_{benEq}(6.5) = \frac{(7-6.5)}{(7-5)} = 0.25$
- **PB=Altos** $\rightarrow (6, 8, 9.5)$ entonces $\mu_{BenAltos}(6.5) = \frac{6.5-6}{(8-6)} = 0.25$
- **AS=Neutral** $\rightarrow (3, 5, 7)$ entonces $\mu_{ASNeutral}(6.5) = \frac{(7-6.5)}{(7-5)} = 0.25$
- **AS=Bien-visto** $\rightarrow (6, 8, 10, 10)$ entonces $\mu_{ASBienVisto}(6.5) = \frac{(6.5-6)}{(8-6)} = 0.25$

Además, aplicando la lógica de control sabemos que las reglas que se disparan son:

- Regla 4: **PB=altos** \wedge **AS=neutral** \rightarrow Reflexionar
- Regla5: **PB=equilibrados** \wedge **AS=bien-visto** \rightarrow Reflexionar

Analizaremos más profundamente el grado de cumplimiento de cada hipótesis en la tabla de la siguiente página.



Dado que ambos disparos de regla producen el mismo grado de activación ($\mu=0,25$), las funciones de salida obtenidas tras la implicación y el recorte son idénticas; por tanto, su agregación (acumulación) mediante el operador elegido —por ejemplo, el máximo— coincide, quedándonos la siguiente gráfica.



El último paso es la desfuzzificación de este conjunto, usando el método del centroide (centro de masas). En este caso, ante la simpleza de la gráfica se puede detectar rápidamente que el centro de gravedad resulta ser 5, por lo que la acción recomendada es Reflexionar. El método elegido presenta como ventajas que ofrece un control suave (continuo) teniendo en cuenta el grado de aplicabilidad de las reglas, sin embargo, es difícil su justificación desde el punto de vista semántico y necesita más tiempo de cálculo que otros métodos.

6. Ejemplo en CLIPS/FUZZY CLIPS

Implementar las reglas en CLIPS/FUZZY CLIPS y poner un ejemplo de inferencia
TIPO MAMDANI (anexando a la documentación los archivos de BH y BC).

6.1. Base de conocimiento.

DEFINICIÓN CONJUNTOS BORROSOS CONTINUOS	
<pre> (deftemplate Esfuerzo 0 10 ; Define universo discurso (; Bajo → (0,0,2,4) (bajo (0 1) (2 1) (4 0)) ; Medio → (2,5,8) (medio (2 0) (5 1) (8 0)) ; Alto → (6,8,10,10) (alto (6 0) (8 1) (10 1)))) (deftemplate Horizonte 1 10 ; universo [1,10] (; Corto → (1, 1, 3, 4) (corto (1 1) (3 1) (4 0)) ; Medio → (4, 5.5, 7) (medio (4 0) (5.5 1) (7 0)) ; Largo → (7, 8.5, 10, 10) (largo (7 0) (8.5 1) (10 1)))) </pre>	<pre> 29 (deftemplate Beneficios 30 0 10 31 (32 (bajos (1 1) (2 1) (4 0)) ; (0,0,2,4) 33 (equilibrados (3 0) (5 1) (7 0)) ; (3,5,7) 34 (altos (6 0) (8 1) (9.5 0)) ; (6,8,9.5) 35 (excesivos (8 0) (9 1) (10 1)) ; (8,9,10,10) 36) 37) 38 39 (deftemplate Aceptacion 40 0 10 41 (42 (mal-visto (0 1) (2 1) (4 0)) ; (0,0,2,4) 43 (neutral (3 0) (5 1) (7 0)) ; (3,5,7) 44 (bien-visto (6 0) (8 1) (10 1)) ; (6,8,10,10) 45) 46) 47 48 (deftemplate Accion 49 0 10 50 (51 (descartar (0 1) (0 1) (5 0)) 52 (reflexionar (2 0) (5 1) (8 0)) 53 (iniciar (5 0) (10 1) (10 1)) 54) 55) </pre>
REGLAS	
<pre> 59 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;; 60 ;; BC.clp – Base de Conocimiento (Mamdani, min-max) 61 ;; Reglas R1..R5 tal como en la memoria 62 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;; 63 64 ;; R1: Esfuerzo alto ^ Horizonte largo ⇒ Accion iniciar 65 (defrule R1 66 (Esfuerzo alto) 67 (Horizonte largo) 68 => 69 (assert (Accion iniciar)) 70) 71 72 ;; R2: Esfuerzo bajo ^ Horizonte corto ⇒ Accion descartar 73 (defrule R2 74 (Esfuerzo bajo) 75 (Horizonte corto) 76 => 77 (assert (Accion descartar)) 78) 79 80 ;; R3: Aceptacion mal-visto v Beneficios bajos ⇒ Accion descartar 81 (defrule R3 82 (or (Aceptacion mal-visto) 83 (Beneficios bajos)) 84 => 85 (assert (Accion descartar)) 86) </pre>	<pre> 87 88 ;; R4: Beneficios altos ^ Aceptacion neutral ⇒ Accion reflexionar 89 (defrule R4 90 (Beneficios altos) 91 (Aceptacion neutral) 92 => 93 (assert (Accion reflexionar)) 94) 95 96 ;; R5: Beneficios equilibrados ^ Aceptacion bien-visto ⇒ Accion reflexionar 97 (defrule R5 98 (Beneficios equilibrados) 99 (Aceptacion bien-visto) 100 => 101 (assert (Accion reflexionar)) 102) </pre>

FUNCION EXTRA

```
104 (defrule final_result
105   ?f <- (Accion ?A)           ; ?A es el fuzzy-value de salida
106   =>
107   (bind ?c (moment-defuzzify ?A)) ; centroide (número)
108   (printout t "Accion (centroide) = " ?c crlf)
109   (if (<= ?c 3.5) then
110     (printout t "Accion recomendada: DESCARTAR" crlf)
111   else
112     (if (>= ?c 6.5) then
113       (printout t "Accion recomendada: INICIAR" crlf)
114     else
115       (printout t "Accion recomendada: REFLEXIONAR" crlf))))
```

6.2. Base de hechos.

```
1 (deffacts hechos
2   (Aceptacion (6.5 0) (6.5 1) (6.5 0))
3   (Beneficios (6.5 0) (6.5 1) (6.5 0))
4 )
5 |
```

6.3. Interpretación de resultados

Cargamos la base de hechos y de conocimiento, teniendo como resultado:

```
FuzzyCLIPS V6.10d (10/22/2004)
FuzzyCLIPS> (load "C:/Users/maike/Documents/master_
FuzzyCLIPS> Defining deftemplate: Esfuerzo
Defining deftemplate: Horizonte
Defining deftemplate: Beneficios
Defining deftemplate: Aceptacion
Defining deftemplate: Accion
Defining defrule: R1 +j+j
Defining defrule: R2 +j+j
Defining defrule: R3 +j
+j
Defining defrule: R4 +j+j
Defining defrule: R5 +j+j
Defining defrule: final_result +j
TRUE
FuzzyCLIPS> (load "C:/Users/maike/Documents/master_
FuzzyCLIPS> Defining deffacts: hechos
TRUE
FuzzyCLIPS> |
```

Una vez cargamos la base de hechos y la base de conocimiento y ejecutamos la operación “reset” y tras esto la operación (facts), apreciaremos lo siguiente:

```
FuzzyCLIPS> (facts)
F-0      (initial-fact) CF 1.00
F-1      (Aceptacion ???) CF 1.00
( (6.5 0.0) (6.5 1.0) (6.5 0.0) )

F-2      (Beneficios ???) CF 1.00
( (6.5 0.0) (6.5 1.0) (6.5 0.0) )

For a total of 3 facts.
```

En la memoria de hechos (MAIN) hay tres hechos activos: el hecho inicial del sistema (initial-fact) y dos hechos difusos que fijan las entradas del problema. Concretamente, Aceptación y Beneficios aparecen con CF 1.00 (certeza completa) y cada uno se da como un singleton en 6.5, representado por el conjunto borroso degenerado ((6.5 0) (6.5 1) (6.5 0)). Es decir, ambos inputs son valores crisp iguales a 6.5, listos para que las reglas los procesen.

Tras esto ejecutamos “run”, pero antes vigilamos la reglas, hechos y activaciones, dándonos como resultado:

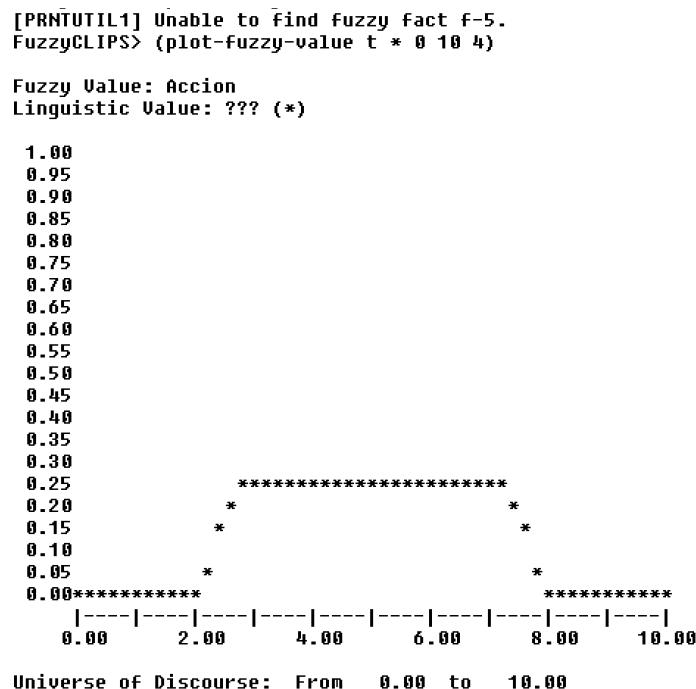
```
FuzzyCLIPS> (watch facts)
FuzzyCLIPS> (watch rules)
FuzzyCLIPS> (watch activation)
[ARGACCES5] Function watch expected argument #1 to 1
FuzzyCLIPS> (watch activations)
FuzzyCLIPS> (run)
FIRE      1 R4: f-2,f-1
==> f-3      (Accion ???) CF 1.00
( (2.0 0.0) (2.75 0.25) (7.25 0.25) (8.0 0.0) )

==> Activation 0      final_result: f-3
FIRE      2 final_result: f-3
Accion (centroide) = 5.0
Accion recomendada: REFLEXIONAR
FIRE      3 R5: f-2,f-1
<== f-3      (Accion ???) CF 1.00
( (2.0 0.0) (2.75 0.25) (7.25 0.25) (8.0 0.0) )

==> f-4      (Accion ???) CF 1.00
( (2.0 0.0) (2.75 0.25) (7.25 0.25) (8.0 0.0) )

==> Activation 0      final_result: f-4
FIRE      4 final_result: f-4
Accion (centroide) = 5.0
Accion recomendada: REFLEXIONAR
```

Como vemos la acción recomendada es reflexionar y se han disparado la regla 4 y 5. Tal y como se analizó en el anterior epígrafe. Finalmente podemos visualizarlo tal y como se aprecia en la siguiente imagen:



7. Conclusiones

Esta práctica demuestra el gran potencial de la lógica borrosa para modelar la realidad, incluso en sus facetas más complejas. Al partir de un dominio deliberadamente humano —simbólico, subjetivo y filosófico—, hemos logrado formalizarlo en un sistema inteligente capaz de guiar la toma de decisiones.

Un aspecto fundamental de este enfoque es su transparencia. A diferencia de tecnologías como las redes neuronales, que a menudo operan como "cajas negras" sin que entendamos el porqué de un resultado, un sistema borroso es una "caja blanca". Las propias reglas, escritas en un lenguaje casi natural, explican su comportamiento. Esto lo hace inherentemente más predecible y controlable que otros modelos donde pueden surgir escenarios inciertos.

Finalmente, es crucial reconocer que este sistema es una sobresimplificación de la realidad. Decisiones vitales involucran factores mucho más profundos, como si una acción se alinea con nuestros valores o si el propio camino nos produce satisfacción. El modelo no pretende reemplazar ese juicio personal, sino servir como un marco para la reflexión. Por ello, este trabajo se cierra con la misma idea que lo inspiró:

“En ausencia de valores universales, el individuo debe crear los suyos propios.”

8. Referencias.

Carlos Gonzalez Morcillo, Lógica Difusa, Una introducción práctica

Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*.
Prentice Hall.

MindMachineTV. [@MindMachineTV]. (2023, 24 de abril). *¿Qué es la lógica difusa?*
[Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ayfoP7Tqa-s>

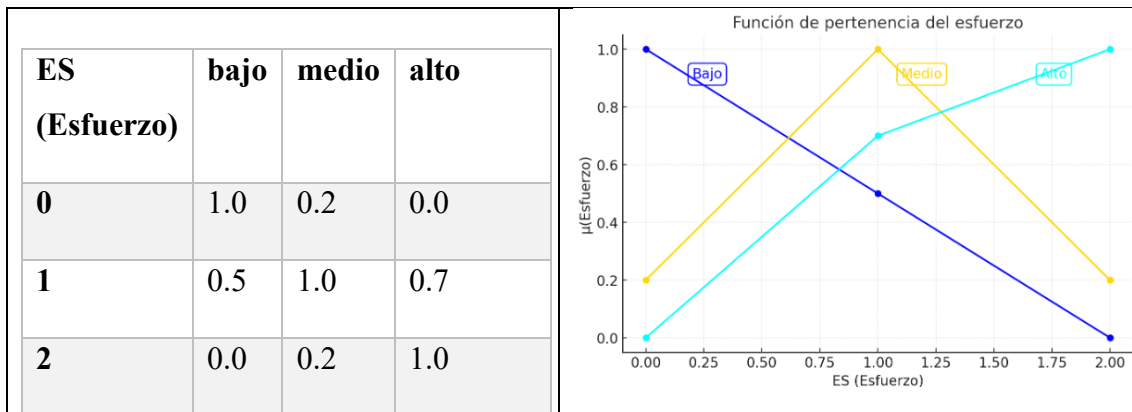
del Campo, I., Tarela, J. M., & de la Cruz, C. A. (2005). *Lógica Difusa y Sistemas
Difusos*. Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de
Cantabria. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/153569963.pdf>

Méndez, J. A., Glez, C., & Sigut, J. A. (2006). *Inteligencia Computacional. Tema 1:
Lógica y Conjuntos Difusos (Básicos)*. Departamento de Ingeniería Informática y
de Sistemas, Universidad de La Laguna. Recuperado de
https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/2233/mod_resource/content/0/ApuntesCI.pdf

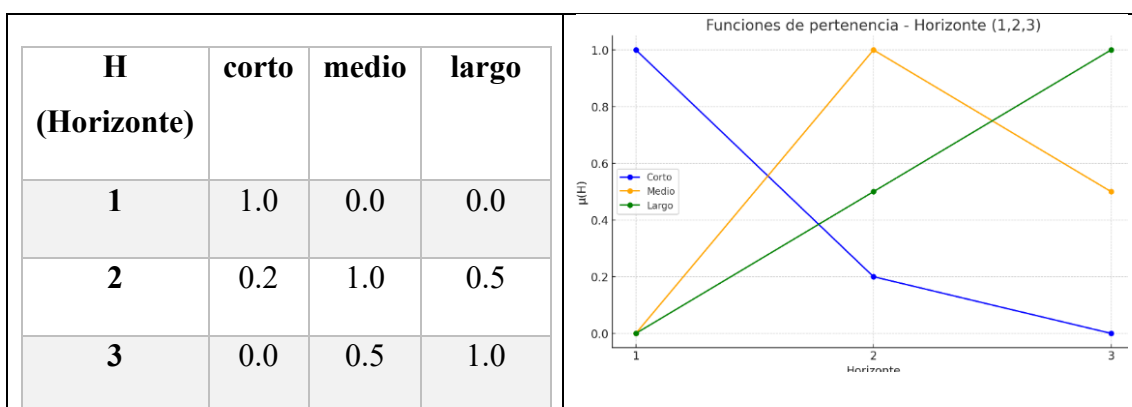
El Físico Sí Importa. [@elfisicosiimporta]. (2018, 13 de diciembre). *Centro de
masas aplicado en lógica difusa* [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=6AO9jTljdAw>

9. Anexo I: Función de pertenencia discreta.

9.1. Esfuerzo (ES)

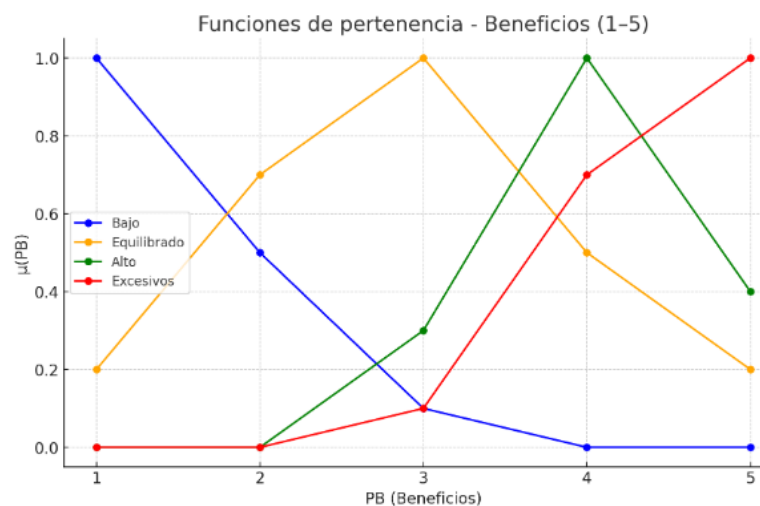


9.2. Horizonte temporal



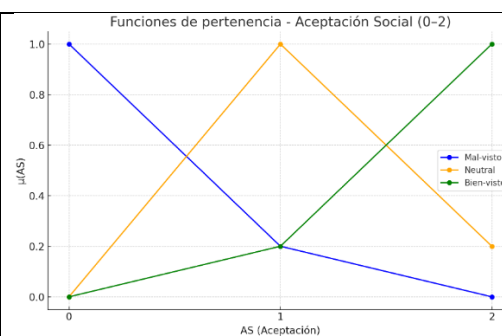
9.3. Potenciales beneficios.

PB (Beneficios)	bajo	equilibrado	alto	excesivos
1	1.0	0.2	0.0	0.0
2	0.5	0.7	0.0	0.0
3	0.1	1.0	0.3	0.1
4	0.0	0.5	1.0	0.7
5	0.0	0.2	0.4	1.0

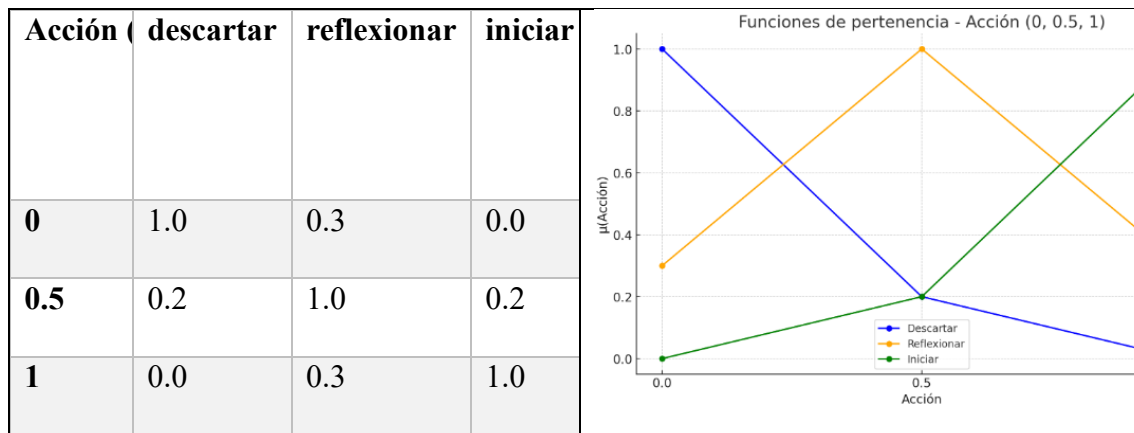


9.4. Aceptación social

AS (Aceptación)	Mal- visto	neutral	Bien- visto
0	1.0	0.0	0.0
1	0.2	1.0	0.2
2	0.0	0.2	1.0



9.5. Tipo de decisión a tomar.

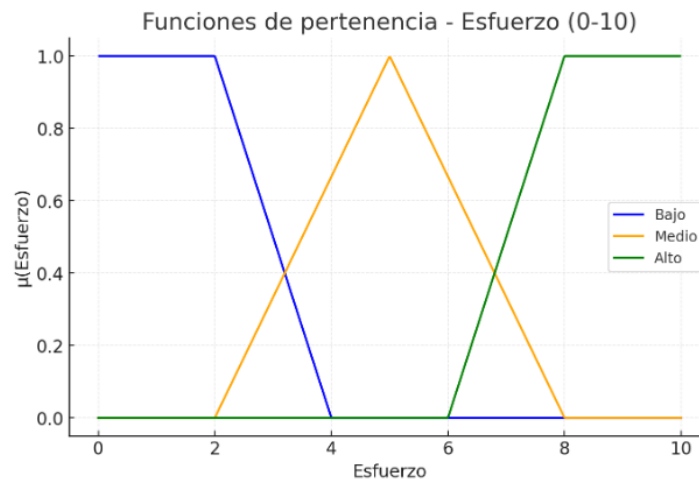


10. Anexo II: Funciones de pertenencia continuas.

10.1. Esfuerzo

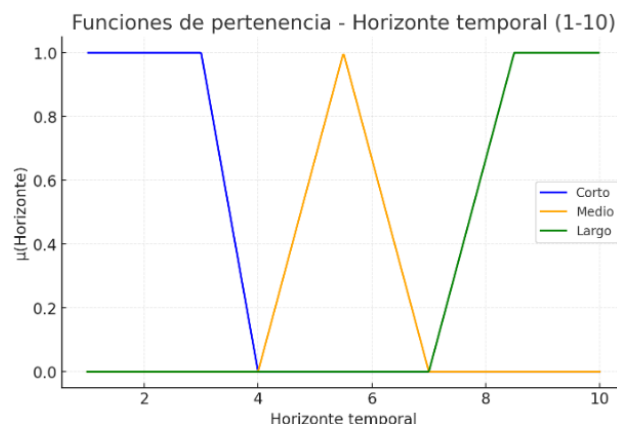
Para el caso de esfuerzo tenemos que:

- **Bajo** $\rightarrow (0,0,2,4)$ en azul
- **Medio** $\rightarrow (2,5,8)$ en naranja
- **Alto** $\rightarrow (6,8,10,10)$ en verde



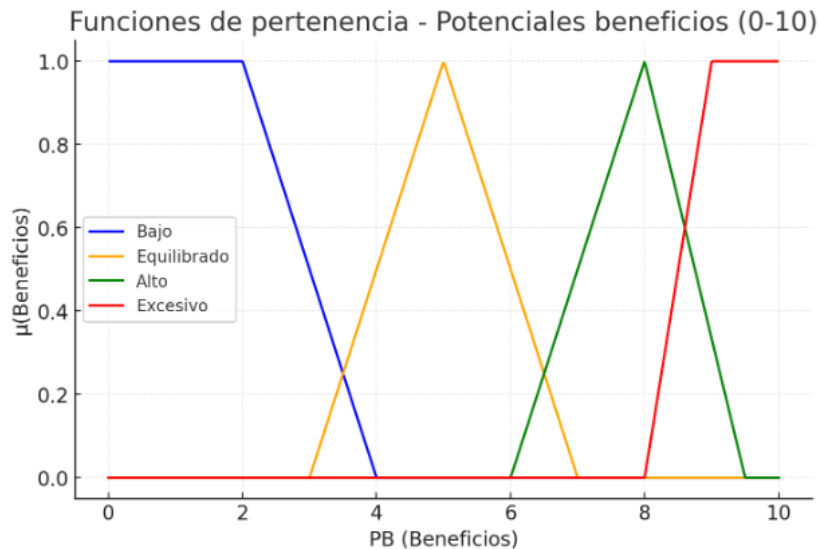
10.2. Horizonte temporal

- **Corto plazo** $\rightarrow (1, 1, 3, 4)$ en azul
- **Medio plazo** $\rightarrow (4, 5.5, 7)$ en naranja
- **Largo plazo** $\rightarrow (7, 8.5, 10, 10)$ en verde



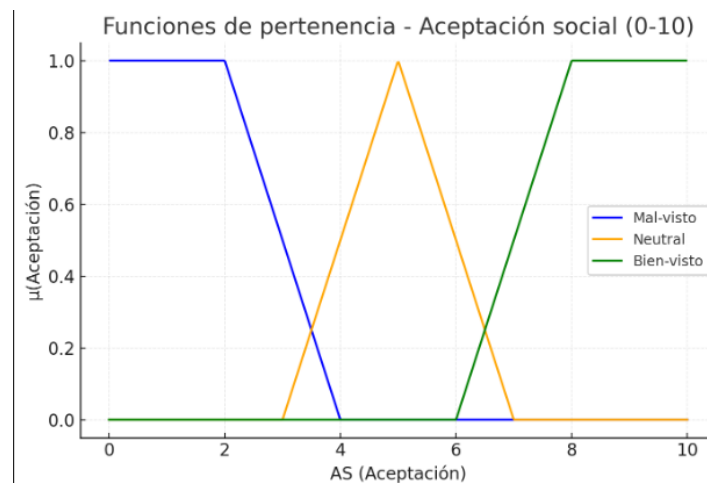
10.3. Potenciales beneficios.

- **Bajos** $\rightarrow (0, 0, 2, 4)$ en azul
- **Equilibrados** $\rightarrow (3, 5, 7)$ en amarillo
- **Altos** $\rightarrow (6, 8, 9.5)$ en verde
- **Excesivos** $\rightarrow (8, 9, 10, 10)$ en rojo



10.4. Aceptación social.

- **Mal-visto:** $(0, 0, 2, 4)$ (azul)
- **Neutral:** $(3, 5, 7)$ (naranja)
- **Bien-visto:** $(6, 8, 10, 10)$ (verde)



10.5. Acción

- **Descartar:** (0, 0, 0, 5) (azul)
- **Reflexionar:** (2, 5, 8) (naranja)
- **Iniciar:** (5, 10, 10) (verde)

