

## Práctica 3

### Sistemas Borrosos

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LAS ORGANIZACIONES

GRUPO 83-1

*Miguel Gutiérrez Pérez*

100383537@alumnos.uc3m.es

*Mario Lozano Cortés*

100383511@alumnos.uc3m.es

*Alba Reinders Sánchez*

100383444@alumnos.uc3m.es

*Alejandro Valverde Mahou*

100383383@alumnos.uc3m.es

GitHub: *InteligenciaArtificialOrganizaciones*

22 de noviembre de 2020

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Contexto de la práctica</b>	<b>3</b>
<b>3. Sistema borroso: Confinamiento</b>	<b>5</b>
3.1. Variables de entrada . . . . .	5
3.2. Variable de salida . . . . .	7
3.3. Reglas . . . . .	7
<b>4. Sistema borroso: Prueba PCR</b>	<b>8</b>
4.1. Variables de entrada . . . . .	8
4.2. Variable de salida . . . . .	10
4.3. Reglas . . . . .	10
<b>5. Validación del sistema</b>	<b>11</b>
5.1. Confinamiento . . . . .	11
5.2. Prueba PCR . . . . .	11
5.3. Analisis de los resultados . . . . .	12
<b>6. Conclusiones</b>	<b>12</b>

# 1. Introducción

Los sistemas borrosos hacen uso de la *Lógica Difusa*, que es una técnica del área de la inteligencia artificial que permite la inclusión de conceptos humanos vagos para resolver problemas [?].

Es un tipo de lógica que reconoce más que valores de verdadero o falso, pues permiten decir el grado de verdad o falsedad de distintas variables, pudiendo llegar a usar variables lingüísticas [?].

Este tipo de sistemas expertos intenta abordar los problemas tal y como lo haría un humano: en términos relativos, y en grados de pertenencia. Estos conceptos vagos son los que usan normalmente los humanos a la hora de razonar.

Los dos problemas que se plantean están fuertemente relacionados con el *COVID-19*. Se trata de crear dos sistemas borrosos capaces de decidir, por un lado **cuándo hay que confinar una población** y, por otro, **cuándo hay que realizar una prueba PCR a un paciente**. Estos problemas pueden ser solucionados a través de sistemas borrosos porque las variables involucradas, tanto de entrada como de salida, pueden ser transformadas en el grado de pertenencia a una clase concreta.

Es importante remarcar que los datos que se han usado para la resolución de la práctica, a falta de contactos con expertos, se han tomado de distintas fuentes del *Ministerio de Sanidad* [?,?] de España. Para poder complementar los sistemas borrosos, ya que requerían de más información, se han interpretado estos valores por los autores. Por tanto, sería necesario realizar una revisión a través de expertos, ya sean médicos, virólogos o epidemiólogos que puedan confirmar o corregir los valores y franjas introducidas.

Sí es cierto que el criterio de realización de pruebas PCR, a pesar de que pueda llegar a ser distinto en cada país, está muy bien acotado y definido. Esto ha facilitado la realización de su sistema borroso.

No es así en el caso del sistema borroso para decidir si confinar o no una población, puesto que no está explicado ni expuesto correctamente en ningún documento público. A pesar de que el *Ministerio de Sanidad* [?] incluya unas directrices que informen de los rangos de valores para diferentes niveles de riesgo, no indica a partir de cuales de esos valores se ha de confinar.

Para resolver los problemas propuestos se utiliza la herramienta *Fuzzy Logic Toolbox (FLT)* de MATLAB debido a que permite manejar fácilmente los principales aspectos cuando se quiere crear un sistema borroso.

## 2. Contexto de la práctica

La lógica difusa es muy útil cuando se desea representar y operar con conceptos que tengan imprecisión y sirve cuando hay ciertas partes del sistema a controlar que son desconocidas y no pueden medirse de forma fiable.

Los sistemas borrosos, al igual que numerosas técnicas de IA, puede ser aplicada sobre muchos tipos de problemas diferentes, como, por ejemplo, en diagnóstico médico, intercambio de acciones de bolsa, optimización de centrales de energía, e incluso el manejo automático de un helicóptero [?].

Un caso que puede resultar especialmente llamativo es el uso de la lógica difusa para controlar un NPC (*Non-Playable Characters*) en un videojuego [?]. Este pequeño caso de estudio intentaba y conseguía demostrar la eficacia y simpleza que resulta la aplicación este tipo de soluciones a entornos dinámicos.

Otro caso que demuestra la gran utilidad de estos métodos es su uso en un sistema mixto, junto a algoritmos genéticos, para encontrar un equilibrio entre satisfacción de los clientes y obtención de beneficio en la planificación de horarios de trenes [?]. En este caso se prueba el uso de un sistema borroso como solución de una parte de un problema más grande, y que se soluciona con algoritmos y métodos más potentes.

Los autores del documento plantearon un esquema general de resolución basado en algoritmos genéticos, sin embargo, se encontraron con el problema de encontrar una tasa de mutación y sobrecruzamiento adecuada. El problema consistía en que una tasa fija no era capaz de contrar la solución óptima al problema, necesitaban tasas variables que eran difícilmente aproximadas mediante una fórmula debido a la complejidad que exigiría la misma. Por ello, debido al grado de incertidumbre existente a la hora de determinar dichas tasas se planteó un sistema de lógica difusa que en función de la diversidad genética de la población considerada era capaz de encontrar valores apropiados para las mismas de forma que se permitió al algoritmo encontrar la solución óptima en el problema considerado. La figura 1 muestra en qué parte del algoritmo genético se realiza la implementación de lógica difusa.

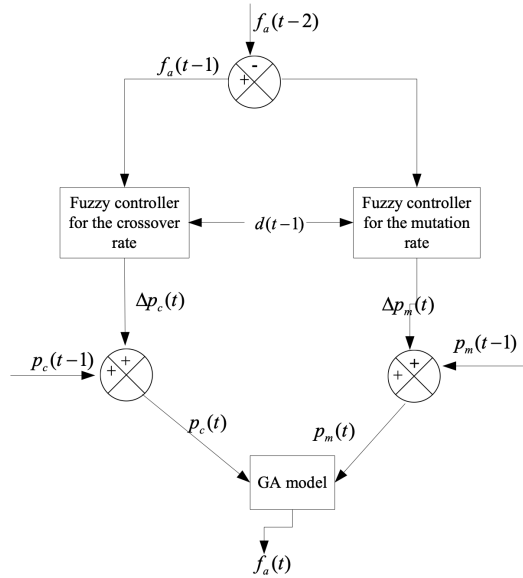


Figura 1: Algoritmo que implementa lógica difusa [?]

En otro área de aplicación completamente distinto al anterior se encuentra este otro caso [?]. Este estudio, que se llevó a la práctica en una cadena de tiendas de ropa en Hong Kong, y era

capaz de recomendar, entre una lista de posibilidades, los conjuntos que más combinen, entre parte de arriba y parte baja.

### 3. Sistema borroso: Confinamiento

De manera inicial se plantea el desarrollo de un sistema borroso que decida la conveniencia o no de confinar a una población en función de una serie de parámetros o variables de entrada al sistema que se detallarán en la subsiguiente sección.

#### 3.1. Variables de entrada

Tras un estudio meticuloso de las variables relevantes en la tarea que se trata de resolver y mediante el apoyo en la información oficial proporcionada en el ámbito de la *Estrategia Nacional para la COVID-19 del Gobierno del Reino de España* [3] se determinan como relevantes la siguiente relación de variables.

- **Incidencia acumulada de casos diagnosticados en 14 días (IA-14):** Casos confirmados en 14 días \*100.000 / número de habitantes. Sus posibles valores son: *Muy Bajo*, *Bajo Medio*, *Alto* y *Muy Alto*. La figura 2 muestra los intervalos de cada uno de los posibles valores de forma gráfica.

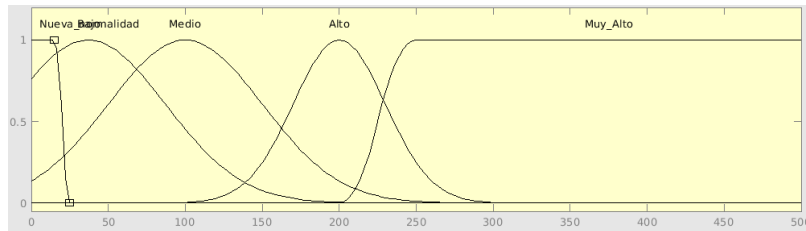


Figura 2: IA-14

- **Incidencia acumulada de casos diagnosticados en 7 días (IA-7):** Casos confirmados en 7 días \*100.000 / número de habitantes. Sus posibles valores son: *Muy Bajo*, *Bajo Medio*, *Alto* y *Muy Alto*. La figura 3 muestra los intervalos de cada uno de los posibles valores de forma gráfica.

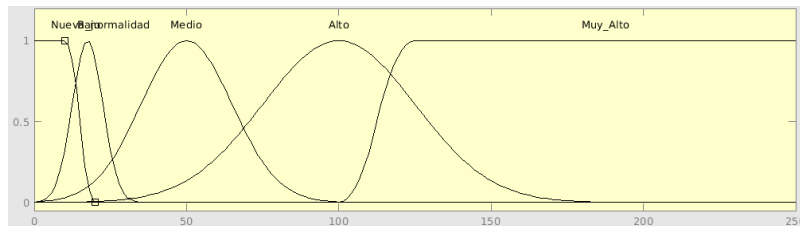


Figura 3: IA-7

- **Incidencia acumulada de casos diagnosticados en Incidencia acumulada de casos con 65 o más años diagnosticados en 14 días (IA-14 65):** Casos  $i=65$  años confirmados en 14 días \*100.000 / número de habitantes  $i=65$  años. Sus posibles valores son: *Muy Bajo*, *Bajo Medio*, *Alto* y *Muy Alto*. La figura 4 muestra los intervalos de cada uno de los posibles valores de forma gráfica.
- **Incidencia acumulada de casos diagnosticados en Incidencia acumulada de casos con 65 o más años diagnosticados en 7 días (IA-7 65):** Casos  $i=65$  años confirmados en 7 días \*100.000 / número de habitantes  $i=65$  años. Sus posibles valores son: *Muy Bajo*, *Bajo Medio*, *Alto* y *Muy Alto*. La figura 5 muestra los intervalos de cada uno de los posibles valores de forma gráfica.

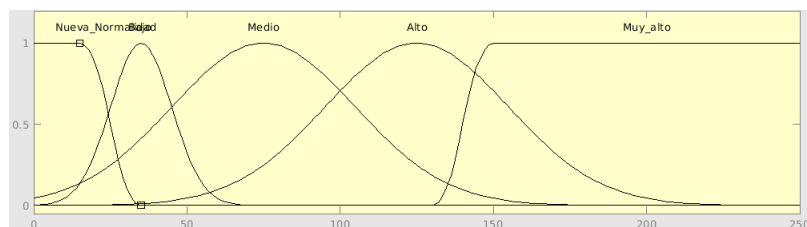


Figura 4: IA-14 65

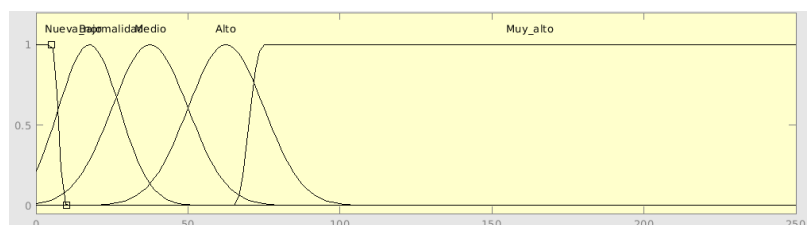


Figura 5: IA-7 65

- **Positividad global de las PDIA (Prueba Diagnóstica de Infección Activa) por semana (PDIA):** Número de pruebas con resultado positivo en 7 días \*100 / Número de pruebas realizadas en 7 días. Sus posibles valores son: *Muy Bajo*, *Bajo Medio*, *Alto* y *Muy Alto*. La figura 6 muestra los intervalos de cada uno de los posibles valores de forma gráfica.

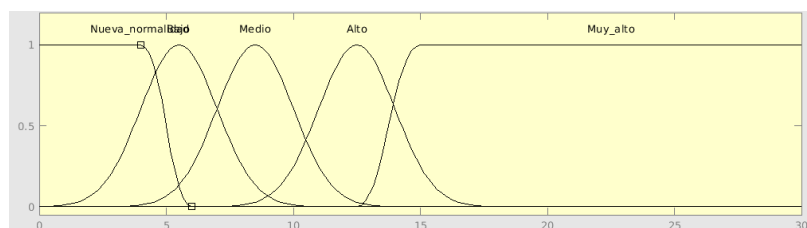


Figura 6: PDIA

- **Ocupación de camas de cuidados críticos por casos de COVID-19 (UCI):** Número de camas de cuidados críticos ocupadas por casos de COVID / Número de camas de cuidados críticos totales en funcionamiento. Sus posibles valores son: *Muy Bajo*, *Bajo Medio*, *Alto* y *Muy Alto*. La figura 13 muestra los intervalos de cada uno de los posibles valores de forma gráfica.

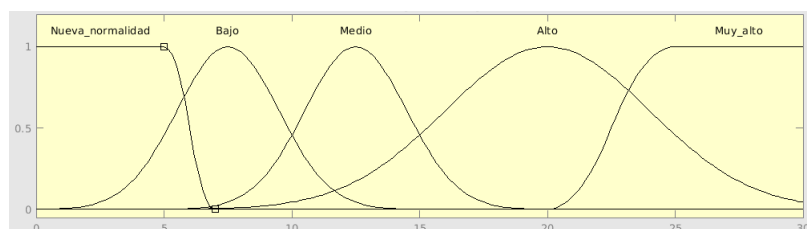


Figura 7: UCI

- **Ocupación de camas de hospitalización por casos de COVID-19 (Camas):** Número de camas de hospitalización ocupadas por casos de COVID / Número total de camas de hospitalización en funcionamiento. Sus posibles valores son: *Muy Bajo*, *Bajo Medio*, *Alto* y *Muy Alto*. La figura 8 muestra los intervalos de cada uno de los posibles valores de forma gráfica.

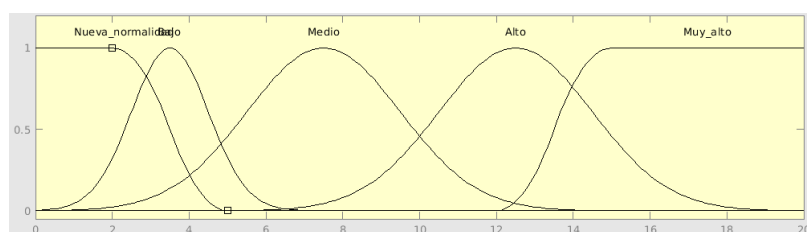


Figura 8: Camas

### 3.2. Variable de salida

Se establece como variable de salida el hecho de confinar o no una población en función de tres niveles diferenciados. *No confinar*, *Considerar el confinamiento* y *Sí confinar*. Se hace hincapié en el sentido del valor *Considerar el confinamiento* que indica a los responsables de confinar un territorio que sería recomendable hacerlo atendiendo únicamente a razones sanitarias, pero que existe capacidad de discusión de otro tipo de medidas que no perjudiquen en esa medida a los sectores productivos de la población. La figura 7 muestra los intervalos de cada uno de los posibles valores de forma gráfica.

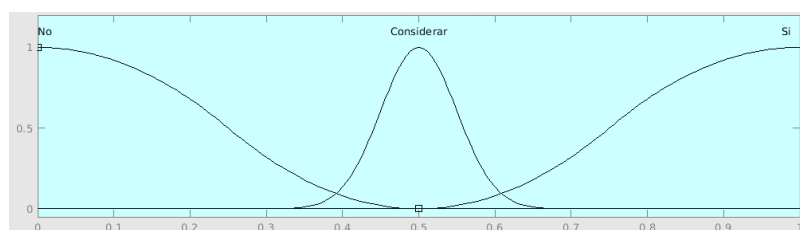


Figura 9: Confinar

### 3.3. Reglas

Todas las reglas son del tipo *AND* menos la primera que es del tipo *OR*.

	IA-14	IA-7	IA-14 65	IA-7 65	PDI	UCI	Camas	<b>Confinar</b>
Regla 1	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Sí
Regla 2	Medio	Medio	-	-	-	-	Alto	Si
Regla 3	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Sí
Regla 4	Nueva norm.	Nueva norm.	Nueva norm.	Nueva norm.	Nueva norm.	Nueva norm.	Nueva norm.	No
Regla 5	Bajo	Alto	-	-	-	-	-	Sí
Regla 6	Bajo	Medio	-	-	-	-	-	Considerar
Regla 7	Medio	Medio	-	-	-	Alto	-	Sí
Regla 8	-	-	-	-	-	Bajo	Bajo	No
Regla 9	Medio	Medio	Alto	Alto	-	-	-	Sí
Regla 10	Medio	Medio	-	-	-	Nueva norm.	Nueva norm.	No
Regla 11	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	No
Regla 12	Alto	Bajo	-	-	-	-	-	No
Regla 13	-	-	Bajo	Alto	-	-	-	Considerar
Regla 14	-	-	-	-	Alto	-	-	Considerar



## 4. Sistema borroso: Prueba PCR

Este segundo sistema basado en lógica borrosa debe decidir si dado un paciente, es o no candidato a que se le realice una prueba PCR. Para ello, se definen una serie de variables de entrada obtenidas del *Ministerio de Sanidad* [?], se ha decidido seleccionar aquellas que se cree que son más relevantes. Además, se establece la variable de salida y por último las reglas para la toma de decisiones.

Un sistema que consiga resolver este problema de forma eficaz sería de gran ayuda en los centros médicos, ya que aliviaría la carga de trabajo de los médicos y sería de utilidad a la hora de tomar decisiones sobre casos inconcluyentes.

### 4.1. Variables de entrada

Las entradas del sistema seleccionadas son:

- **Días desde primeros síntomas (DDPS)** figura 10: representa el número de días que el paciente lleva con síntomas relacionados con el *COVID-19*. Sus posibles valores son: *Pocos*, *Medios* y *Muchos*.

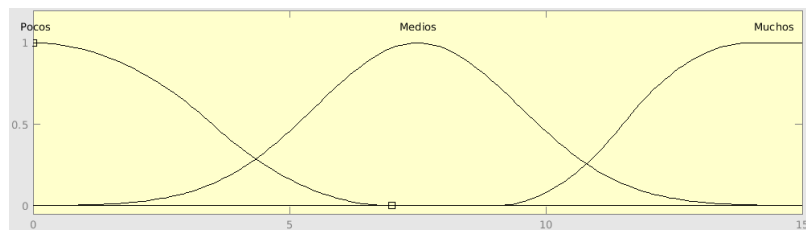


Figura 10: DDPS

- **Prueba rápida** figura 11: si el paciente ha dado positivo o negativo en una prueba rápida, por lo tanto sus valores son solo *Sí* o *No*. Si al paciente no se le ha realizado ninguna prueba rápida se representará con un 0,5.

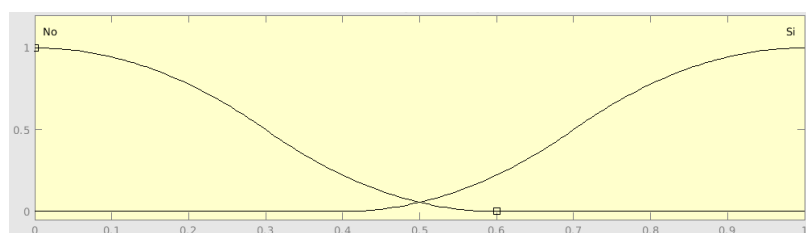


Figura 11: Prueba rápida

- **PCR** figura 12: si el paciente ha dado positivo o negativo en una prueba PCR, al igual que en la variable anterior, sus valores son solo *Sí* o *No*. Si al paciente no se le ha realizado ninguna PCR se representará con un 0,5.
- **UCI** figura 13: si el paciente tiene que ser ingresado en la UCI, posibles valores: *Sí* o *No*.
- **Sospecha clínica** figura 14: creencia del médico de si el paciente puede tener o no el *COVID-19*. Toma valores de *Baja*, *Media* y *Alta*.
- **Días desde contacto positivo (DDCP)** figura 15: representa el número de días desde que el paciente ha estado en contacto con una persona positiva de *COVID-19*. Sus posibles valores son: *Pocos*, *Medios* y *Muchos*.

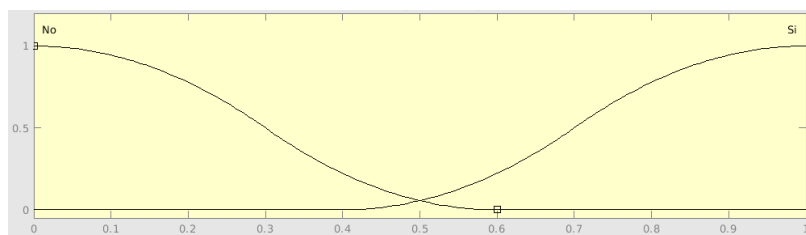


Figura 12: PCR

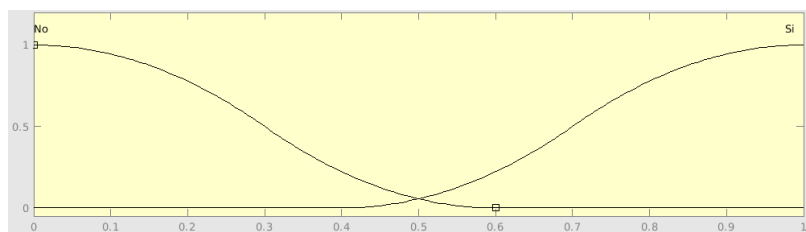


Figura 13: UCI

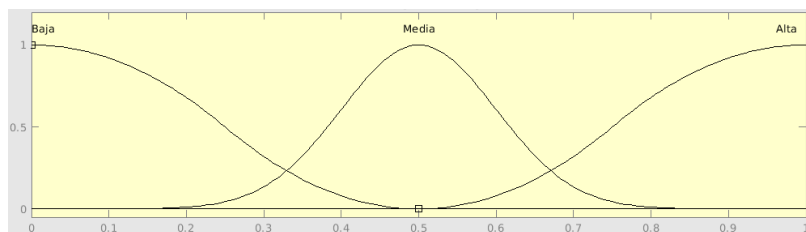


Figura 14: Sospecha clínica

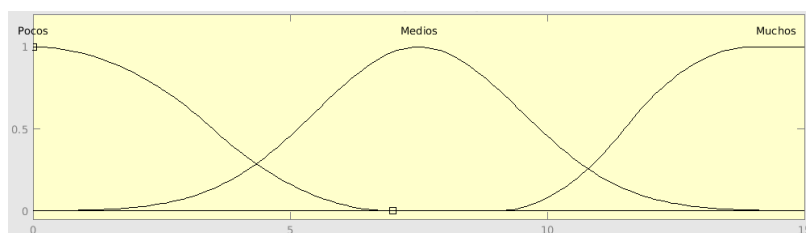


Figura 15: DDCP

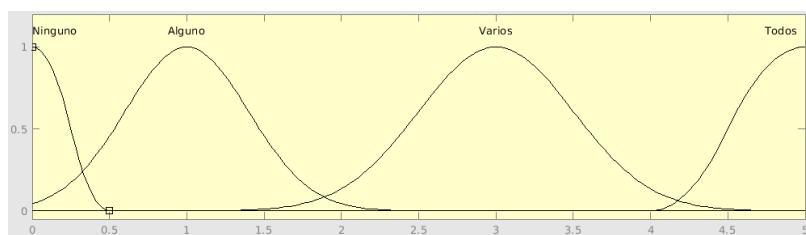


Figura 16: Síntomas

- **Síntomas** figura 16: indica el número de síntomas de *COVID-19* que tiene el paciente. Puede tomar valores de *Ninguno*, *Alguno*, *Varios* y *Todos*.
- **Uso mascarilla con no convivientes** (UMNC) figura 17: si el paciente usa regularmente la mascarilla cuando se encuentra con personas con las que no convive, sus valores son solo *Sí* o *No*.

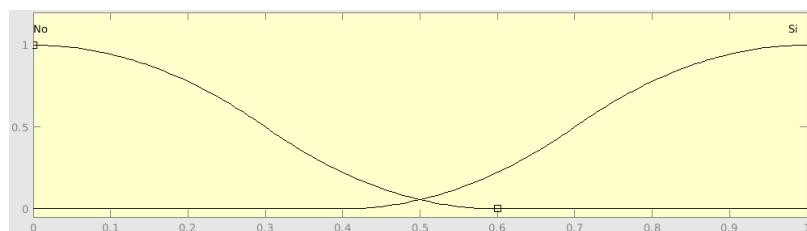


Figura 17: UMNC

## 4.2. Variable de salida

Como la decisión a tomar es si se debe realizar o no una prueba PCR, la salida del sistema es la certeza que se tiene de si se debe realizar la prueba o no al paciente. Sus valores son *Sí* o *No* (figura 18).

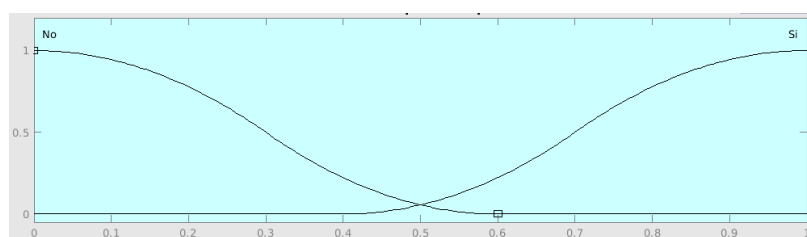


Figura 18: Realizar PCR

## 4.3. Reglas

Todas las reglas son del tipo *AND*. Para las 7 primeras reglas se ha tomado como referencia la información del *Ministerio de Sanidad* [?], las siguientes son creadas bajo el criterio de los autores con el fin de completar la funcionalidad del sistema.

	DDPS	Prueba Rápida	PCR	UCI	Sospecha Clínica	DDCP	Síntomas	UMNC	Realizar PCR
Regla 1	<i>Not Pocos</i>	-	-	-	-	-	-	-	Sí
Regla 2	-	-	No	-	Alta	-	-	-	Sí
Regla 3	-	No	-	-	Alta	-	-	-	Sí
Regla 4	<i>Not Pocos</i>	No	-	-	-	-	-	-	Sí
Regla 5	-	-	Sí	-	-	-	-	-	Sí
Regla 6	-	-	-	-	-	Muchos	Ninguno	-	No
Regla 7	-	-	-	-	-	<i>Not Mucho</i>	Ninguno	Sí	No
Regla 8	Pocos	-	-	-	<i>Not Alta</i>	-	-	-	No
Regla 9	-	Sí	-	-	Baja	-	-	-	Sí
Regla 10	-	-	-	-	-	<i>Not Muchos</i>	<i>Not Ninguno</i>	No	Sí
Regla 11	<i>Not Pocos</i>	-	-	-	-	-	Todos	-	Sí
Regla 12	-	No	-	-	Baja	-	-	-	No
Regla 13	-	No	-	-	-	-	Varios	-	No
Regla 14	-	-	-	-	<i>Not Alta</i>	-	Alguno	-	No

## 5. Validación del sistema

### 5.1. Confinamiento

	IA-14	IA-7	IA-14 65	IA-7 65	PDI	UCI	Camas	<b>Prob. Confinar</b>
Prueba 1	300	200	200	100	23	28	18	0.8571
Prueba 2	400	150	150	200	29	23	15	0.8571
Prueba 3	160	80	110	55	11	16	11	0.6936
Prueba 4	240	120	140	70	14	23	14	0.7550
Prueba 5	55	30	60	35	8	11	6	0.5427
Prueba 6	60	40	50	40	9	14	8	0.6622
Prueba 7	30	15	30	13	5	7	3	0.1709
Prueba 8	40	20	40	20	7	9	4	0.2129
Prueba 9	5	3	2	2	1	2	0	0.1458
Prueba 10	20	9	15	9	3	4	2	0.2158

	IA-14	IA-7	IA-14 65	IA-7 65	PDI	UCI	Camas	<b>Prob. Confinar</b>
Prueba 1	100	100	15	60	8	7	12	0.7755
Prueba 2	5	21	125	5	2	25	4	0.8164
Prueba 3	200	25	75	20	4	13	16	0.6410

### 5.2. Prueba PCR

	DDPS	Prueba Rápida	PCR	UCI	Sospecha Clínica	DDCP	Síntomas	UMNC	<b>Prob. Realizar PCR</b>
Prueba 1	1.5	0.5	0.5	0	0.1	1.5	0.5	0.1	0.5033
Prueba 2	3	0.5	0.5	0	0.2	3	1	0.2	0.472
Prueba 3	4.5	0.5	0.5	0	0.3	4.5	1.5	0.3	0.5633
Prueba 4	6	0	0.5	0	0.4	0.6	2	0.4	0.7228
Prueba 5	7.5	0.5	0	0	0.5	7.5	2.5	0.5	0.7807
Prueba 6	9	0.5	1	0	0.5	9	3	0.6	0.7807
Prueba 7	10.5	0.5	1	1	0.6	10.5	3.5	0.7	0.7807
Prueba 8	12	1	0.5	0	0.7	12	4	0.80	0.8279
Prueba 9	13	1	0.5	1	0.8	13.5	4.5	0.9	0.8279
Prueba 10	15	1	0.5	0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8279
Prueba 11	10	0	0.5	0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.7245
Prueba 12	8	1	0.5	0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8279
Prueba 13	4	1	0.5	0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.7617
Prueba 14	0	1	0.5	0	0	5	0	1	0.5
Prueba 15	10	0.5	1	0	0.2	15	1	0.9	0.5
Prueba 16	10	0.5	1	0	0.8	12	3	0.9	0.7807
Prueba 17	2	0.5	0.5	1	0.5	6	3	0.8	0.5146
Prueba 18	2	0.5	0.5	0	0.3	2	0	0.9	0.2947
Prueba 19	15	1	1	0	0.2	7	1	0.75	0.5
Prueba 20	7	0	0	0	0.4	9	2	0.6	0.7245
Prueba 21	14	0.5	0	0	0.4	7	5	0.1	0.7807
Prueba 22	2	1	0.5	1	0.9	3	0	0.8	0.5228
Prueba 23	7	0	0	0	0.6	14	1	0.2	0.5052

### 5.3. Analisis de los resultados

## 6. Conclusiones

A lo largo del desarrollo de esta práctica se ha profundizado en la técnica de *Lógica Difusa*, la misma presenta un enfoque bien diferenciado de otras técnicas de Inteligencia Artificial, puesto que permite la resolución de problemas para los cuales no existe una alternativa eficiente que sea **capaz de trabajar con la incertidumbre humana**. Por todo ello, esta práctica resulta de utilidad si se pretende introducirse en ese mundo de manera sucinta. Sin embargo, también impone la resolución de unos retos que deben ser solucionados si se pretende afrontar aplicaciones reales.

Entre las principales desventajas o retos que acarrea esta técnica está la **dificultad de establecer reglas** exactas así como los distintos intervalos de cada una de las variables para disponer de un sistema lo más fiel posible. Esto es así debido a las propias características de la lógica difusa, puesto que al ser capaz de trabajar con la incertidumbre humana pierde la capacidad de detectar patrones inadvertidos a los humanos como sí pueden encontrar, por ejemplo, las redes de neuronas.

Otra piedra en el camino a la hora de realizar una tarea de lógica difusa con éxito consiste en encontrar una **fuentes fiable de conocimiento** para posibilitar la creación de reglas y casos de prueba, lo cual se pone de manifiesto en situaciones tan caóticas como la epidemia de *SARS-CoV-2*.

A pesar de sus múltiples desventajas, la lógica difusa es una técnica especialmente útil especialmente si se contrasta con otras técnicas conocidas como caja negra, es **extremadamente fácil obtener explicaciones** sobre los resultados en base a las reglas activadas.

A modo de conclusión se destaca la importancia de disponer de distintas herramientas de Inteligencia Artificial que permitan su aplicación en situaciones bien diferenciadas, permitiendo de esta manera seleccionar la técnica que mejor se adapte a lo que se pretende obtener en cada momento. Puesto que no existen técnicas universales la tarea de un ingeniero experto en Inteligencia Artificial debe ser la seleccionar el conjunto de técnicas que mejor funcione en cada momento.

## Referencias

- [1] H. Singh, M. Gupta, T. Meitzler, Z.-G. Hou, K. Garg, A. Solo, and L. Zadeh, “Real-life applications of fuzzy logic,” *Advances in Fuzzy Systems*, vol. 2013, 08 2013.
- [2] U. Köse, “Developing a fuzzy logic based game system,” *Computer Technology and Application*, vol. 3, pp. 510–517, 01 2012.
- [3] G. d. E. Ministerio de Sanidad, “Estrategia nacional para la covid 19.” [https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19\\_Estrategia\\_vigilancia\\_y\\_control\\_e\\_indicadores.pdf](https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19_Estrategia_vigilancia_y_control_e_indicadores.pdf), Nov. 2020.
- [4] G. d. E. Ministerio de Sanidad, “Estrategia de detección precoz, vigilancia y control de covid-19.” [https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19\\_Estrategia\\_vigilancia\\_y\\_control\\_e\\_indicadores.pdf](https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19_Estrategia_vigilancia_y_control_e_indicadores.pdf), Nov. 2020.
- [5] H. Lau, D. Nakandala, and L. Zhao, “Development of a hybrid fuzzy genetic algorithm model for solving transportation scheduling problem,” *Journal of Information Systems and Technology Management*, vol. 12, pp. 505–524, 2016.
- [6] W. Wong, X. Zeng, W. Au, T. Mok, and S. Leung, “A fashion mix-and-match expert system for fashion retailers using fuzzy screening approach,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, pp. 1750–1764, 03 2009.