



UNIVERSIDAD
ATLÁNTIDA
ARGENTINA

UNIVERSIDAD ATLANTIDA ARGENTINA INGENIERIA EN INFORMATICA INTELIGENCIA ARTIFICIAL I AÑO 2021

TRABAJO INTEGRADOR FINAL: SISTEMAS DE INFERENCIA MAMDANI

DOCENTES: LUCIA ISABEL PASSONI Y MARIELA AZUL GONZALEZ

INTEGRANTES: CAPOVILLA MAURO Y TETA GUSTAVO AGUSTIN

INDICACIONES GENERALES.

- 1) Proponga una aplicación donde considera útil el uso de éstos sistemas. Defina el objetivo de la aplicación que propone.
- 2) Confeccione una serie de preguntas a realizar al usuario del sistema.
- 3) Identifique y defina variables de entrada y salida.
- 4) Proponga funciones de pertenencia (dominio, soporte, parámetros), la base de reglas y sus operadores correspondientes. Justifique su elección.
- 5) Impleméntelo y obtenga la salida correspondiente.
- 6) Resuélvalo de manera manual y computacionalmente.
- 7) Evalúe dicho sistema para diferentes casos típicos de uso.
- 8) ¿El sistema, cumple su objetivo? Justifique.

1.-

El desarrollo elegido para este trabajo será con aplicaciones en análisis marítimo, en específico el análisis y decisión de salir a navegar dadas condiciones actuales de vientos, marea, tipo de embarcación, estado de las nubes, dirección del viento y la dirección en la que pensamos navegar.

2.-

¿Que hay que tener en cuenta a la hora de salir a navegar?

Primero que nada debemos confeccionar un checklist donde revisaremos el equipo de navegación y tener los papeles y permisos en regla.

De esta forma nos aseguraremos evitar inconvenientes relacionados a los suministros o a las instalaciones del barco.

Algunos elementos a revisar son:

- Sistemas de seguridad.
- Cartas náuticas.
- Radios y radares.
- Combustible de reserva.
- Estado del motor.
- Predicciones meteorológicas.

¿En relación a las cuestiones meteorológicas, tienen algún parámetro para tener en cuenta a la hora de salir a navegar?

Si, utilizamos la “Escala de Beaufort”, la cual nos indica a los navegantes la intensidad del viento y en consecuencia también de las olas.

La escala de Beaufort cuenta con 12 grados de intensidad de viento, cada uno de los grados tiene una denominación, que va desde “calma” partiendo de 0 hasta “huracán” que corresponde a una intensidad de 12.

ESCALA DE VIENTO BEAUFORT				
ESCALA BEAUFORT	VELOCIDAD DEL VIENTO	DESCRIPCION	SIMBOLO	CONDICION DE MAR
1	1 - 3 Nudos	Ventolina		Se riza la mar, sin crestas de espuma.
2	4 - 6 Nudos	Flojito		Olas pequeñas que no rompen.
3	7 - 10 Nudos	Flojo		Olas algo mayores con algunos borregos dispersos.
4	11 - 16 Nudos	Bonancible		Olas pequeñas. Borregos bastante frecuentes.
5	17 - 21 Nudos	Fresquito		Olas moderadas, abundancia de borregos.
6	22 - 27 Nudos	Fresco		Empiezan a formarse olas grandes, crestas de espuma blanca, probablemente rocío.
7	28 - 33 Nudos	Frescachón		La mar se vuelve gruesa. La espuma es arrastrada en dirección del viento.
8	34 - 40 Nudos	Temporal		Olas de altura moderada. De la parte alta de las crestas empiezan a desprenderse rociones en forma de remolinos.
9	41 - 47 Nudos	Temporal fuerte		Olas muy grandes. Espuma densa arrastrada en la dirección del viento. El rocío puede afectar la visibilidad.
10	48 - 55 Nudos	Temporal duro		Olas muy altas con grandes crestas. La superficie del mar aparece blanca. El movimiento de la mar es pesado. Visibilidad afectada.
11	56 - 63 Nudos	Temporal muy duro		Olas excepcionalmente altas. La mar está completamente cubierta de largas manchas de espuma blanca en dirección del viento.
12	64 + Nudos	Temporal huracanado		El aire está lleno de espuma y de rocío. La mar está completamente blanca y con espuma. Visibilidad muy seriamente afectada.

¿Las nubes las tienen en cuenta?

Si, generalmente, los mejores días para navegar son días despejados o con nubes altas y distantes, lo cual nos otorga una mejor visibilidad a la hora de navegar.

Podemos categorizar las nubes de cuatro maneras:

- Nubes altas: Son nubes con una altura superior a 6000 metros.
- Nubes medias: Se trata de nubes que se encuentran entre 2000 y 6000 metros. A esta altura la navegación se sigue desarrollando sin problema, ya que aun contamos con perfecta visibilidad.
- Nubes bajas: Son nubes con una altura menor a 2000 metros, estas nubes están acompañadas con un poco de niebla y precipitaciones. Nos encontramos en una situación algo complicada para marineros que no tengan mucha experiencia, ya que se pueden desorientar.
- Nubes de desarrollo vertical: Son una clase de nubes de gran altura verticalmente, varían entre 600 y 13000 metros. Suele ser bastante peligroso y complicado hasta para los mas expertos.

¿Hay diferencias o clases de navíos?

Si, podemos categorizar a los navíos dependiendo sus características y su diseño. Los navíos se identifican con letras (A, B, C y D).

- A – Navegación Oceánica: Gran autonomía y capaces de soportar vientos mayores a una fuerza de 8 en la escala de Beaufort, además de resistir el embiste de olas mayores a 4 metros de altura.
- B – Alta mar: Navíos capaces de soportar vientos de hasta fuerza 8 en la escala de Beaufort y hasta olas de 4 metros de altura. Aquí se encuadran la mayoría de los yates.
- C – Aguas Costeras: Son capaces de resistir vientos de fuerza 6 en la escala de Beaufort. La altura máxima de ola exigida es de 2 metros.
- D – Aguas Interiores: Navegan en aguas protegidas, soportan un máximo de olas de 30 centímetros y resisten vientos de fuerza 4.

CATEGORÍA DE DISEÑO	FUERZA DE BEAUFORT	ALTURA DE OLAS
A	Mayor a 8	Superior a 4 metros
B	Hasta 8	Hasta 4 metros
C	Inferior a 6	Hasta 2 metros
D	Inferior a 4	Hasta 0,3 metros

3.-

Para el desarrollo de nuestro proyecto decidimos utilizar tres Sistemas de Inferencia Difusos.

El primer FIS esta destinado a la evaluación de la Escala de Beaufort y el tipo de barco, por lo tanto, vamos a recibir como parámetros de entrada:

- Velocidad del viento [0 – 71] Nudos.
- Tipo/Categoría de barco [A, B, C, D].

Y como parámetro de salida vamos a obtener:

- Beaufort_Categoria [0 – 10] puntos.

El parámetro de salida “Beaufort_Categoria” nos va a brindar una evaluación del día para salir a navegar, siendo 0 la peor y 10 la mejor calificación posible.

El segundo FIS esta destinado a la evaluación de la dirección del navío y de los vientos.

Vamos a recibir como parámetros de entrada:

- Dirección del Barco [0 – 360]grados.
- Dirección del Viento [0 – 360]grados.

Parámetro de salida:

- Navegacion_Viento [0 – 10] puntos.

El parámetro de salida “Navegacion_Viento” nos va a brindar una evaluación en relación a la dirección que queremos viajar y en que dirección sopla el viento, tiene una calificación de 0 a 10, siendo 0 la peor y 10 la mejor.

El tercer FIS esta destinado al análisis final del sistema, donde definitivamente se va a evaluar si el día es apto para navegar o no.

Vamos a recibir como parámetros de entrada:

- Beaufort_Categoria [0 – 10] puntos.
- Navegacion_Vientos [0 – 10] puntos.
- Altura de las nubes [0 – 11000] metros.

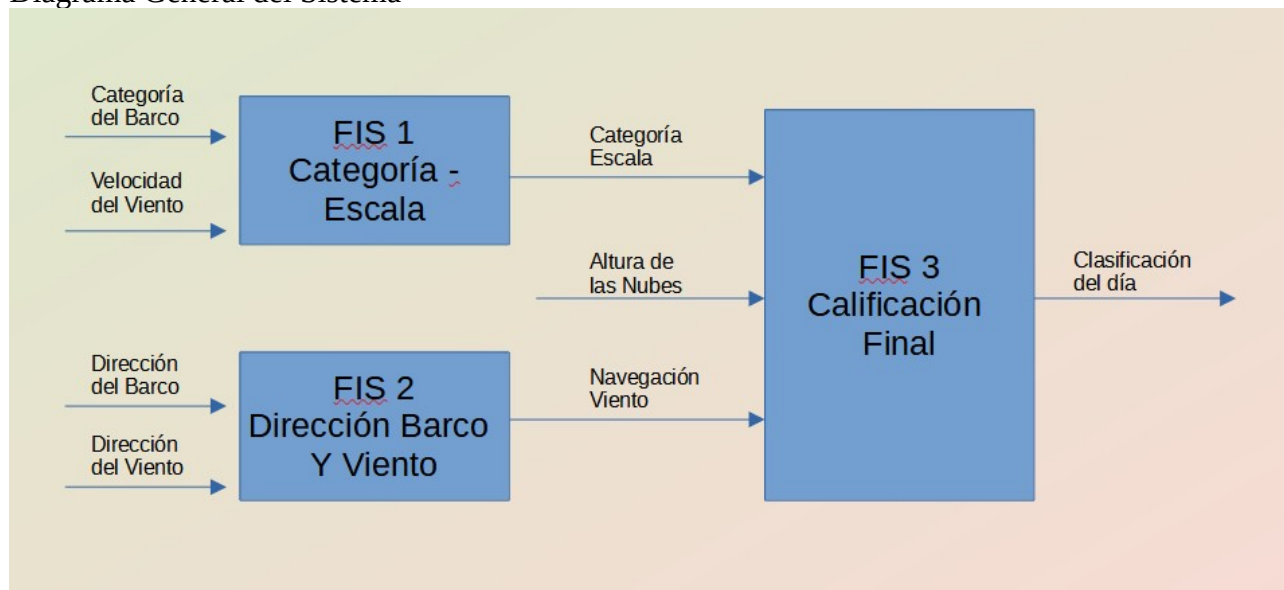
Parámetro de salida:

- Calificacion_Dia [0 – 10] puntos.

El parámetro de salida “Calificacion_Dia” nos va a brindar una calificación final teniendo en cuenta todos los aspectos y parámetros anteriormente analizados, este valor nos va a permitir tomar la decisión de salir a navegar o posponer el viaje, siendo 0 la peor calificación (se recomienda posponer) y 10 la mejor calificación posible (se puede realizar el viaje sin problemas).

4 y 5.-

Diagrama General del Sistema



Sistema de Inferencia Difusa 1 – Escala de Beaufort y Tipo de Barco.

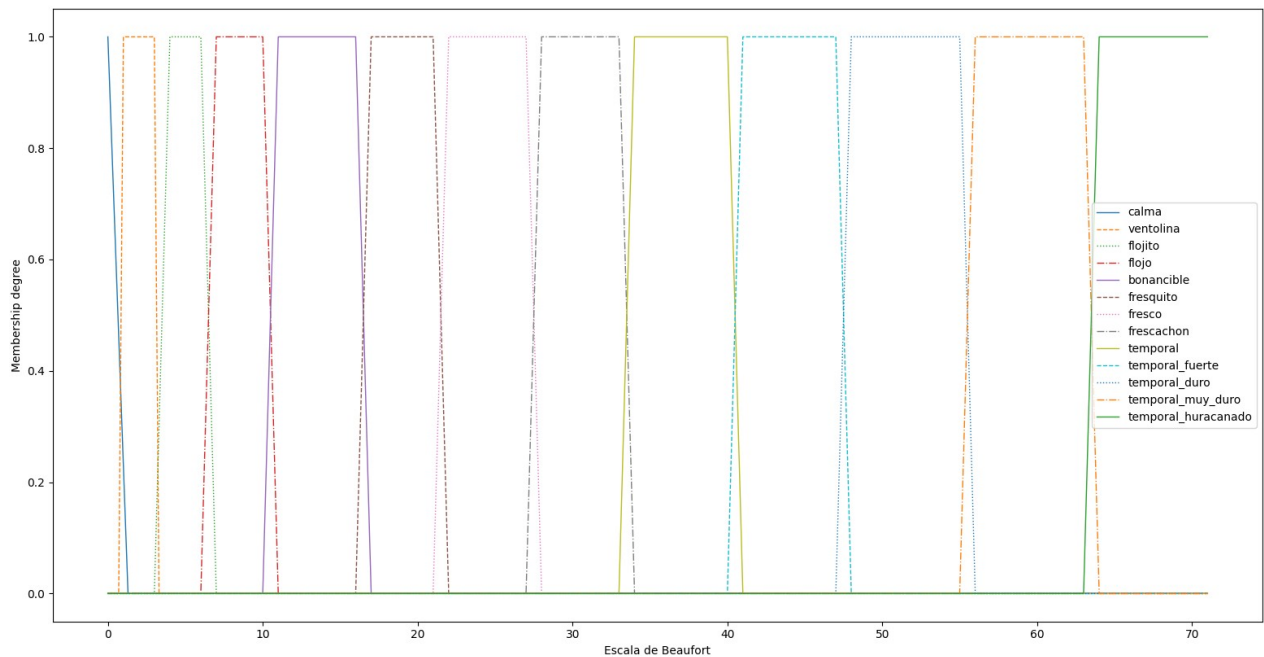
Escala de Beaufort (Entrada):

Dominio: [0 – 71] Nudos.

Soporte: [0 – 71] Nudos.

Funciones de membresía:


```
# INPUTS
B1 = FuzzySet(function=Triangular_MF(0, 0, 1.3), term="calma")
B2 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(0.7, 1, 3, 3.3), term="ventolina")
B3 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(3, 4, 6, 7), term="flojito")
B4 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(6, 7, 10, 11), term="flojo")
B5 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(10, 11, 16, 17), term="bonancible")
B6 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(16, 17, 21, 22), term="fresquito")
B7 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(21, 22, 27, 28), term="fresco")
B8 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(27, 28, 33, 34), term="frescachon")
B9 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(33, 34, 40, 41), term="temporal")
B10 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(40, 41, 47, 48), term="temporal_fuerte")
B11 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(47, 48, 55, 56), term="temporal_duro")
B12 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(55, 56, 63, 64), term="temporal_muy_duro")
B13 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(63, 64, 100, 100), term="temporal_huracanado")
FS.add_linguistic_variable("escala_beaufort", LinguisticVariable([B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8,
                                                                B9, B10, B11, B12, B13],
                                                                concept="Escala de Beaufort",
                                                                universe_of_discourse=[0, 71]))
```



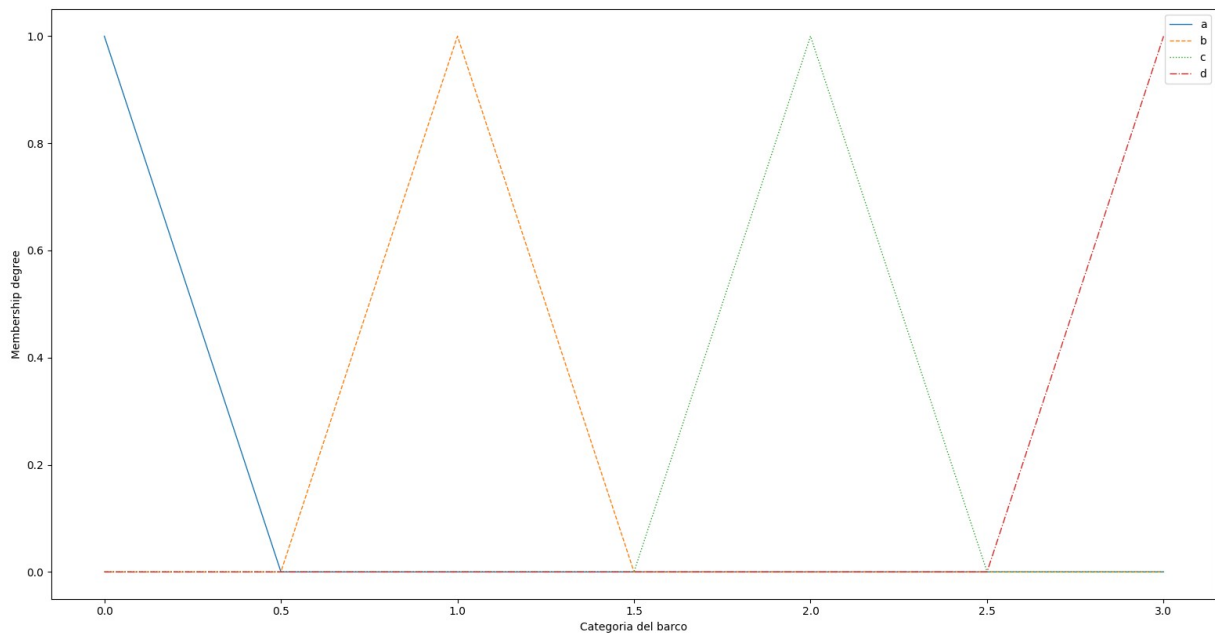
Tipo de Barcos (Entrada):

Dominio: [0 - 3]

Soporte: [0 - 3]

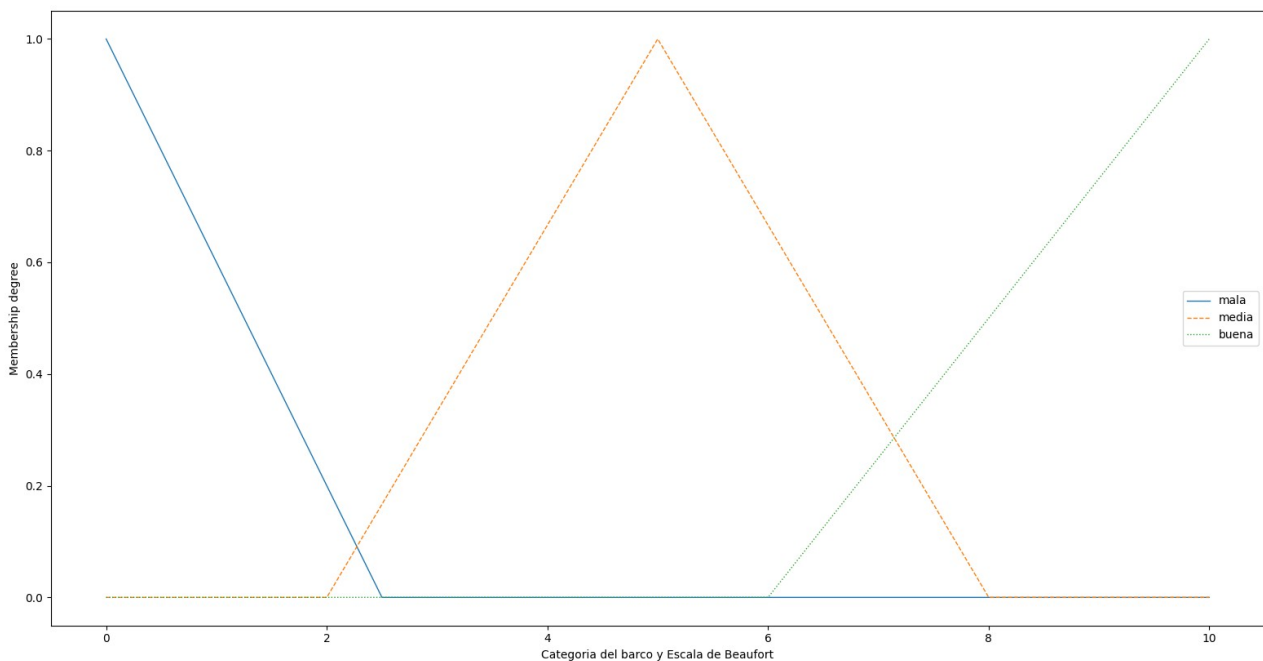
Funciones de membresía:

```
CB1 = FuzzySet(function=Triangular_MF(0, 0, 0.5), term="a")
CB2 = FuzzySet(function=Triangular_MF(0.5, 1, 1.5), term="b")
CB3 = FuzzySet(function=Triangular_MF(1.5, 2, 2.5), term="c")
CB4 = FuzzySet(function=Triangular_MF(2.5, 3, 3), term="d")
FS.add_linguistic_variable("categoria_barco", LinguisticVariable([CB1, CB2, CB3, CB4],
                                                                concept="Categoria del barco",
                                                                universe_of_discourse=[0, 3]))
```



Categoría_Escala (Salida):
 Dominio: [0 – 10] puntos.
 Soporte: [0 – 10] puntos.
 Funciones de membresía:

```
# OUTPUTS
CE1 = FuzzySet(function=Triangular_MF(0, 0, 2.5), term="mala")
CE2 = FuzzySet(function=Triangular_MF(2, 5, 8), term="media")
CE3 = FuzzySet(function=Triangular_MF(6, 10, 10), term="buena")
FS.add_linguistic_variable("categoria_escala", LinguisticVariable([CE1, CE2, CE3],
                                                                    concept="Categoría del barco y Escala de Beaufort",
                                                                    universe_of_discourse=[0, 10]))
```



Reglas y Operadores:

La librería “simpful” utilizada para la implementación de FIS en python utiliza los siguientes operadores:

- NOT $x = 1 - x$
- x OR $y = \max(x, y)$.
- x AND $y = \min(x, y)$.

Y las reglas definidas para este FIS son:

```
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS calma) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS ventolina) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS flojito) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS flojo) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS bonancible) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS fresquito) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS fresco) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS frescachon) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS temporal) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS temporal_fuerte) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS temporal_duro) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS temporal_muy_duro) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS a) AND (escala_beaufort IS temporal_huracanado) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS calma) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS ventolina) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS flojito) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS flojo) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS bonancible) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS fresquito) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS fresco) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS frescachon) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS temporal) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS temporal_fuerte) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS temporal_duro) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS temporal_muy_duro) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS b) AND (escala_beaufort IS temporal_huracanado) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS calma) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS ventolina) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS flojito) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS flojo) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS bonancible) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS fresquito) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS fresco) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS frescachon) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS temporal) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS temporal_fuerte) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS temporal_duro) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS temporal_muy_duro) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS c) AND (escala_beaufort IS temporal_huracanado) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS calma) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS ventolina) THEN (categoria_escalas IS buena)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS flojito) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS flojo) THEN (categoria_escalas IS media)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS bonancible) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS fresquito) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS fresco) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS frescachon) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS temporal) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS temporal_fuerte) THEN (categoria_escalas IS mala)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS temporal_duro) THEN (categoria_escalas IS mala)
```



```

IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS temporal_muy_duro) THEN (categoria_escala IS mala)
IF (categoria_barco IS d) AND (escala_beaufort IS temporal_huracanado) THEN (categoria_escala IS mala)

```

Sistema de Inferencia Difusa 2 – Dirección del Barco y del Viento.

Dirección de Navegación (Entrada):

Dominio: [0 – 360] grados.

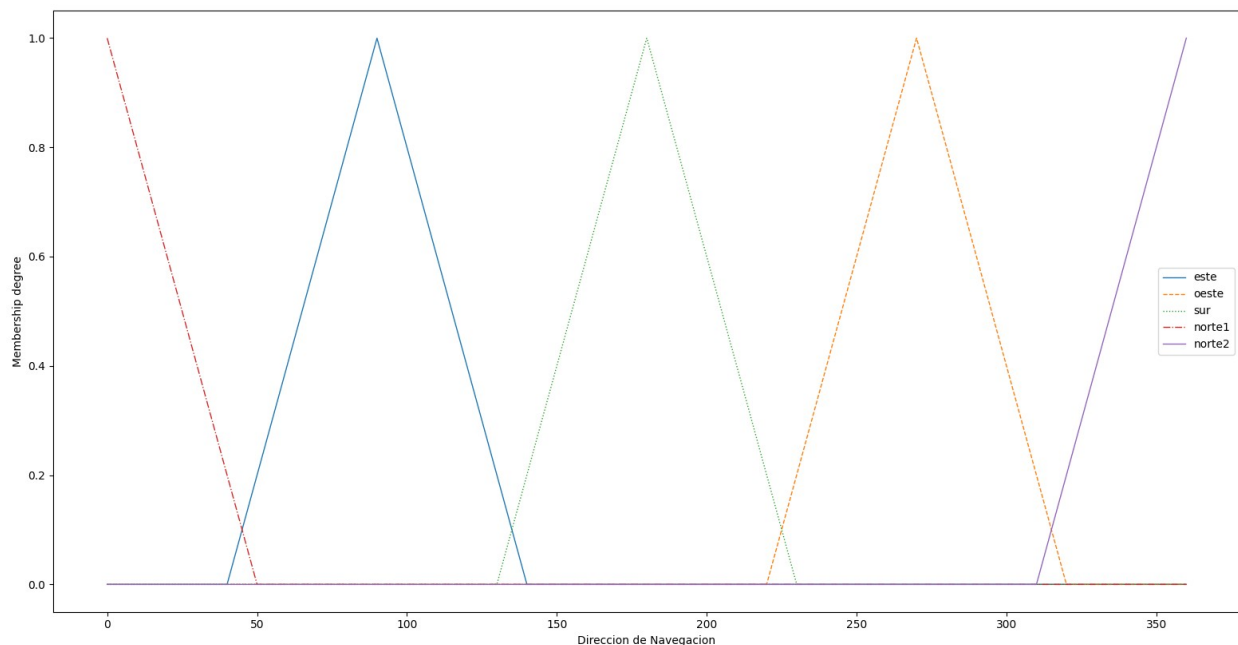
Soporte: [0 – 360] grados.

Funciones de membresías:

```

DNE = FuzzySet(function=Triangular_MF(40, 90, 140), term="este")
DNO = FuzzySet(function=Triangular_MF(220, 270, 320), term="oeste")
DNS = FuzzySet(function=Triangular_MF(130, 180, 230), term="sur")
DNN1 = FuzzySet(function=Triangular_MF(0, 0, 50), term="norte1")
DNN2 = FuzzySet(function=Triangular_MF(310, 360, 365), term="norte2")
FS.add_linguistic_variable("direccion_navegacion", LinguisticVariable([DNE, DNO, DNS, DNN1, DNN2],
                                                                    concept="Direccion de Navegacion",
                                                                    universe_of_discourse=[0, 360]))

```



Dirección del Viento (Entrada):

Dominio: [0 – 360] grados.

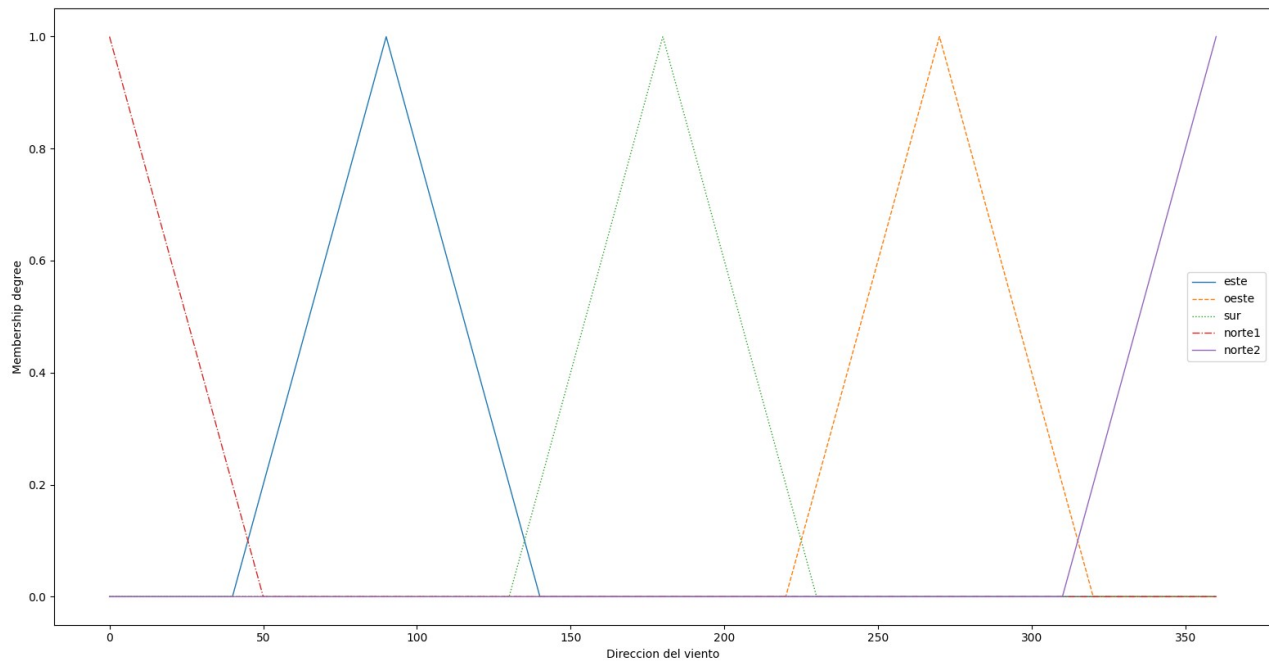
Soporte: [0 – 360] grados.

Funciones de membresía:

```

DVE = FuzzySet(function=Triangular_MF(40, 90, 140), term="este")
DVO = FuzzySet(function=Triangular_MF(220, 270, 320), term="oeste")
DVS = FuzzySet(function=Triangular_MF(130, 180, 230), term="sur")
DVN1 = FuzzySet(function=Triangular_MF(0, 0, 50), term="norte1")
DVN2 = FuzzySet(function=Triangular_MF(310, 360, 365), term="norte2")
FS.add_linguistic_variable("direccion_viento", LinguisticVariable([DVE, DVO, DVS, DVN1, DVN2],
                                                                    concept="Direccion del viento",
                                                                    universe_of_discourse=[0, 360]))

```



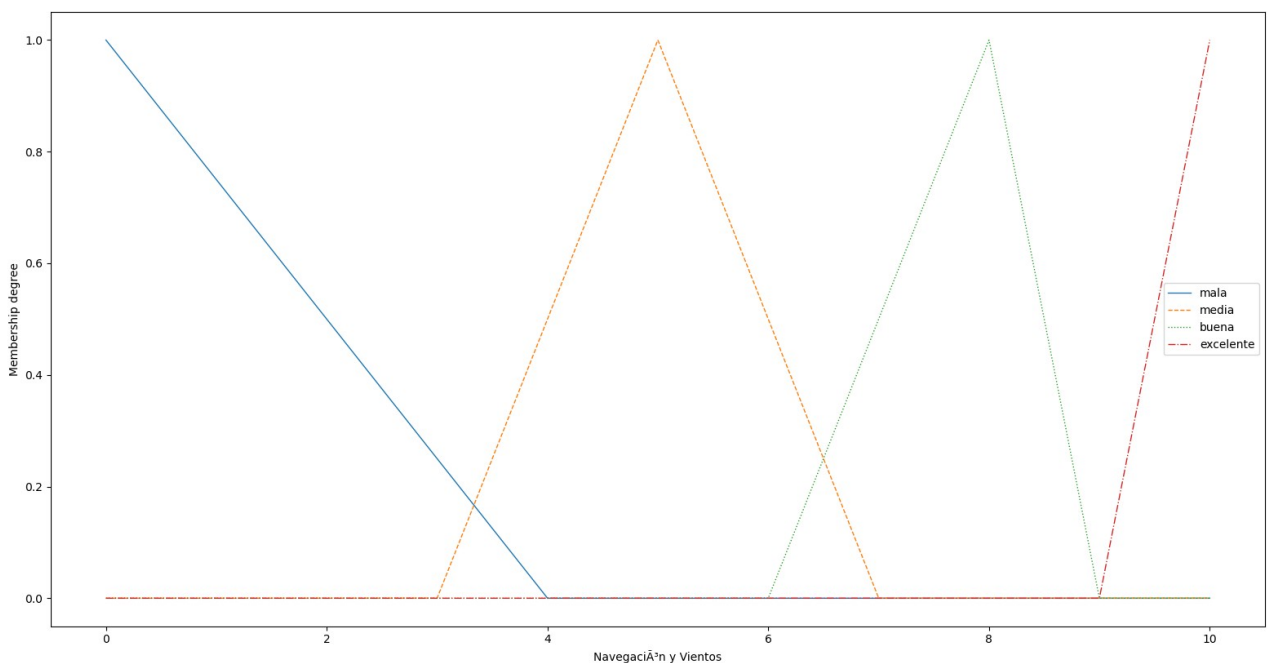
Navegacion_Viento (Salida):

Dominio: [0 – 10] puntos.

Soporte: [0 – 10] puntos.

Funciones de membresía:

```
NyV1 = FuzzySet(function=Triangular_MF(0, 0, 4), term="mala")
NyV2 = FuzzySet(function=Triangular_MF(3, 5, 7), term="media")
NyV3 = FuzzySet(function=Triangular_MF(6, 8, 9), term="buena")
NyV4 = FuzzySet(function=Triangular_MF(9, 10, 10), term="excelente")
FS.add_linguistic_variable("navegacion_viento", LinguisticVariable([NyV1, NyV2, NyV3, NyV4],
                                                                    concept="Navegaci3n y Vientos",
                                                                    universe_of_discourse=[0, 10]))
```



Reglas y Operadores:

La librería “simpful” utilizada para la implementación de FIS en python utiliza los siguientes operadores:

- NOT $x = 1 - x$
- x OR $y = \max(x, y)$.
- x AND $y = \min(x, y)$.

Y las reglas definidas para este FIS son:

```
IF (direccion_navegacion IS norte1) AND (direccion_viento IS sur) THEN (navegacion_viento IS mala)
IF (direccion_navegacion IS norte2) AND (direccion_viento IS sur) THEN (navegacion_viento IS mala)
IF (direccion_navegacion IS sur) AND (direccion_viento IS norte1) THEN (navegacion_viento IS mala)
IF (direccion_navegacion IS sur) AND (direccion_viento IS norte2) THEN (navegacion_viento IS mala)
IF (direccion_navegacion IS este) AND (direccion_viento IS oeste) THEN (navegacion_viento IS mala)
IF (direccion_navegacion IS oeste) AND (direccion_viento IS este) THEN (navegacion_viento IS mala)
IF (direccion_navegacion IS norte1) AND (direccion_viento IS este) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS norte1) AND (direccion_viento IS oeste) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS norte2) AND (direccion_viento IS este) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS norte2) AND (direccion_viento IS oeste) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS sur) AND (direccion_viento IS este) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS sur) AND (direccion_viento IS oeste) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS este) AND (direccion_viento IS norte1) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS este) AND (direccion_viento IS norte2) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS este) AND (direccion_viento IS sur) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS oeste) AND (direccion_viento IS norte1) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS oeste) AND (direccion_viento IS norte2) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS oeste) AND (direccion_viento IS sur) THEN (navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS norte1) AND (direccion_viento IS este) AND (NOT (direccion_viento IS sur)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS norte1) AND (direccion_viento IS oeste) AND (NOT (direccion_viento IS sur)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS norte2) AND (direccion_viento IS este) AND (NOT (direccion_viento IS sur)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS norte2) AND (direccion_viento IS oeste) AND (NOT (direccion_viento IS sur)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS sur) AND (direccion_viento IS este) AND (NOT (direccion_viento IS norte1)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS sur) AND (direccion_viento IS oeste) AND (NOT (direccion_viento IS norte2)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS este) AND (direccion_viento IS norte1) AND (NOT (direccion_viento IS oeste)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS este) AND (direccion_viento IS norte2) AND (NOT (direccion_viento IS oeste)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS este) AND (direccion_viento IS sur) AND (NOT (direccion_viento IS oeste)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS oeste) AND (direccion_viento IS norte1) AND (NOT (direccion_viento IS este)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS oeste) AND (direccion_viento IS norte2) AND (NOT (direccion_viento IS este)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS oeste) AND (direccion_viento IS sur) AND (NOT (direccion_viento IS este)) THEN
(navegacion_viento IS buena)
IF (direccion_navegacion IS norte1) AND (direccion_viento IS norte1) THEN (navegacion_viento IS excelente)
IF (direccion_navegacion IS norte2) AND (direccion_viento IS norte2) THEN (navegacion_viento IS excelente)
IF (direccion_navegacion IS norte1) AND (direccion_viento IS norte2) THEN (navegacion_viento IS excelente)
IF (direccion_navegacion IS norte2) AND (direccion_viento IS norte1) THEN (navegacion_viento IS excelente)
IF (direccion_navegacion IS este) AND (direccion_viento IS este) THEN (navegacion_viento IS excelente)
IF (direccion_navegacion IS oeste) AND (direccion_viento IS oeste) THEN (navegacion_viento IS excelente)
IF (direccion_navegacion IS sur) AND (direccion_viento IS sur) THEN (navegacion_viento IS excelente)
```

Sistema de Inferencia Difusa 3 – Evaluación Final.

En este FIS tenemos tres parámetros de entrada de los cuales dos ya fueron definidos anteriormente, estos son:

- Navegacion_Viento (salida del FIS 2).
- Categoria_Escala (salida del FIS 1).
- Altura_Nubes.

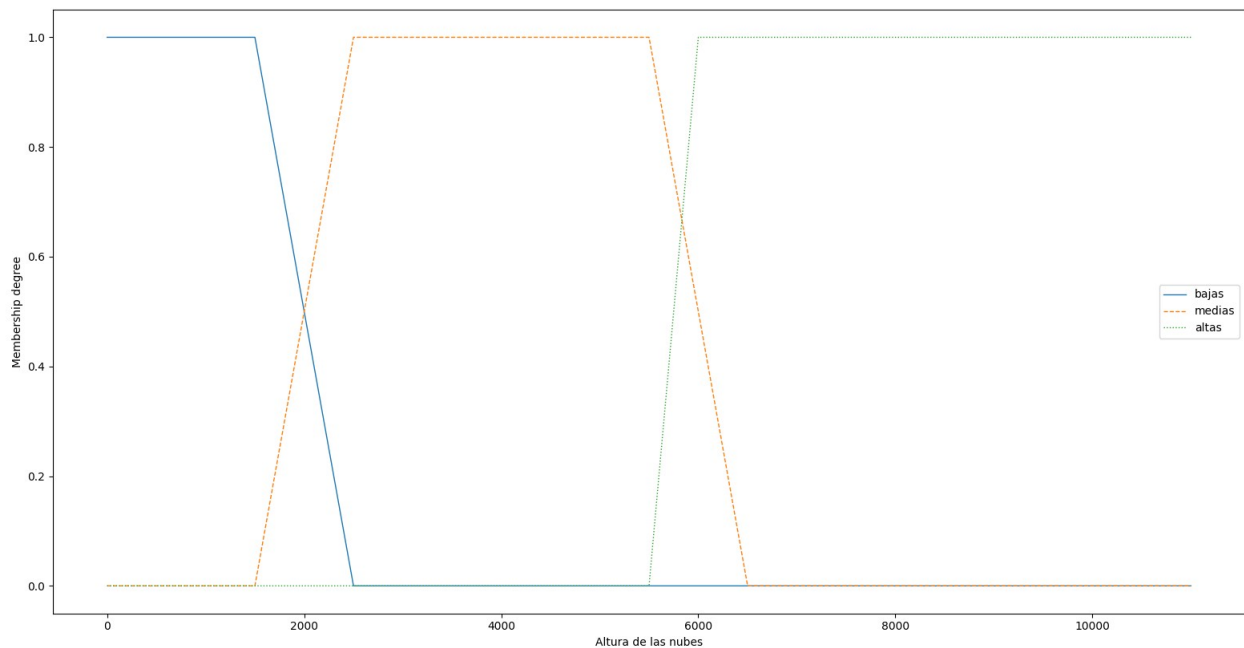
Altura_Nubes (Entrada):

Dominio: [0 – 11000] metros.

Soporte: [0 – 11000] metros.

Funciones de membresía:

```
N1 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(0, 0, 1500, 2500), term="bajas")
N2 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(1500, 2500, 5500, 6500), term="medias")
N3 = FuzzySet(function=Trapezoidal_MF(5500, 6000, 12000, 12000), term="altas")
FS.add_linguistic_variable("altura_nubes", LinguisticVariable([N1, N2, N3],
                                                                concept="Altura de las nubes",
                                                                universe_of_discourse=[0, 11000]))
```



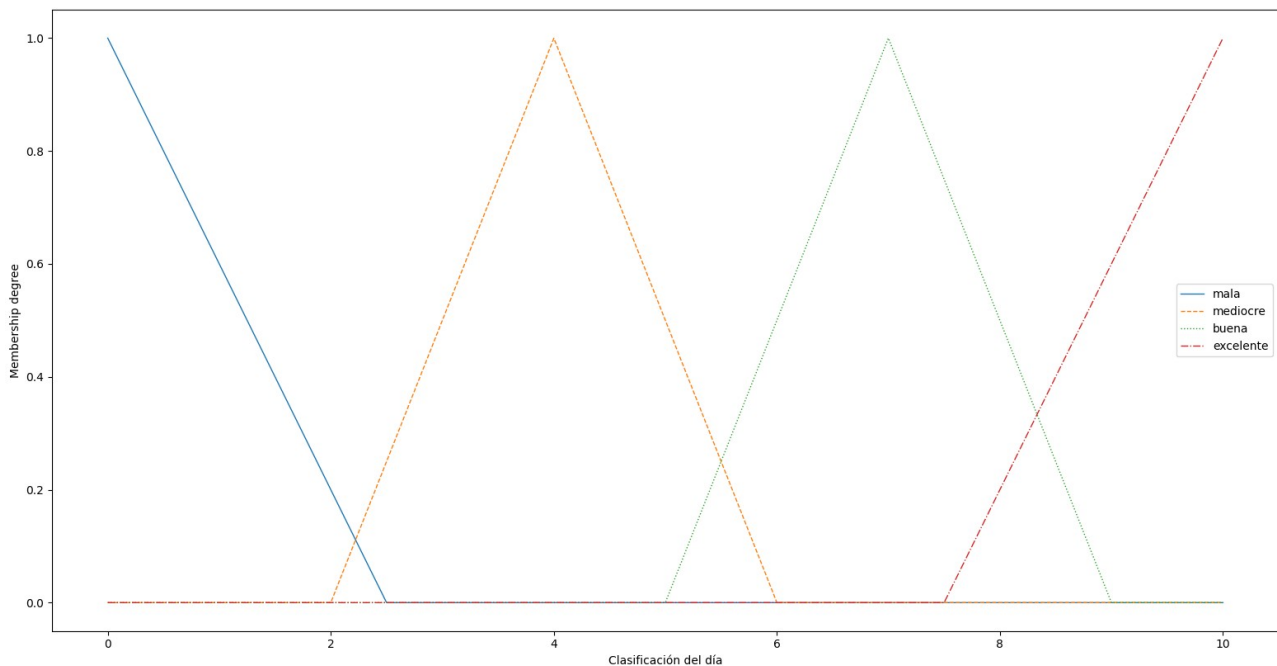
Clasificacion_Dia (Salida):

Dominio: [0 – 10] puntos.

Soporte: [0 – 10] puntos.

Funciones de membresía:

```
CD1 = FuzzySet(function=Triangular_MF(0, 0, 2.5), term="mala")
CD2 = FuzzySet(function=Triangular_MF(2, 4, 6), term="mediocre")
CD3 = FuzzySet(function=Triangular_MF(5, 7, 9), term="buena")
CD4 = FuzzySet(function=Triangular_MF(7.5, 10, 10), term="excelente")
FS.add_linguistic_variable("clasificacion_dia", LinguisticVariable([CD1, CD2, CD3, CD4],
                                                                    concept="Clasificación del día",
                                                                    universe_of_discourse=[0, 10]))
```



Reglas y Operadores:

La librería “simpful” utilizada para la implementación de FIS en python utiliza los siguientes operadores:

- NOT $x = 1 - x$
- x OR $y = \max(x, y)$.
- x AND $y = \min(x, y)$.

Y las reglas definidas para este FIS son:

```
IF (categoria_escalas IS mala) AND (navegacion_viento IS mala) AND (altura_nubes IS bajas) THEN (clasificacion_dia IS mala)
IF (categoria_escalas IS mala) AND (navegacion_viento IS mala) AND (altura_nubes IS medias) THEN (clasificacion_dia IS mala)
IF (categoria_escalas IS mala) AND (navegacion_viento IS mala) AND (altura_nubes IS altas) THEN (clasificacion_dia IS mala)
IF (categoria_escalas IS mala) AND (navegacion_viento IS media) AND (altura_nubes IS bajas) THEN (clasificacion_dia IS mala)
IF (categoria_escalas IS mala) AND (navegacion_viento IS media) AND (altura_nubes IS medias) THEN (clasificacion_dia IS mala)
IF (categoria_escalas IS mala) AND (navegacion_viento IS media) AND (altura_nubes IS altas) THEN (clasificacion_dia IS mala)
IF (categoria_escalas IS mala) AND (navegacion_viento IS buena) AND (altura_nubes IS bajas) THEN
```


[illegible]

6.-

Implementación de un ejemplo manual del FIS 3 – “Evaluación final”									
Variables de Entrada					Variable de Salida				
Navegacion_Vientos	[0 – 10]				Clasificacion_Dia	[0 – 10]			
Categoria_Escala	[0 – 10]								
Altura_Nubes	[0 – 11000]								
Definimos algunas reglas									
R1 = IF (Navegacion_Vientos IS media) AND (Categoria_Escala IS media) AND (Altura_Nubes IS medias) THEN (Clasificacion_Dia IS mediocre)									
R2 = IF (Navegacion_Vientos IS mala) AND (Categoria_Escala IS mala) AND (Altura_Nubes IS bajas) THEN (Clasificacion_Dia IS mala)									
R3 = IF (Navegacion_Vientos IS buena) AND (Categoria_Escala IS buena) AND (Altura_Nubes IS altas) THEN (Clasificacion_Dia IS excelente)									
R4 = IF (Navegacion_Vientos IS media) AND (Categoria_Escala IS buena) AND (Altura_Nubes IS altas) THEN (Clasificacion_Dia IS buena)									

Debido a la complejidad del sistema completo y la cantidad de reglas decidimos simplificar el sistema para realizar la demostración de como se calcula de forma manual.

Respetamos los conjuntos difusos definidos en el punto 4 y 5.

Ejemplo de aplicación de forma manual.

Navegacion_Vientos = 8 → $\mu(\text{Navegacion_Vientos=buena}) = 0.96$

Categoria_Escala = 8.5 → $\mu(\text{Categoria_Escala=buena}) = 0.65$

Altura_Nubes = 10000 → $\mu(\text{Altura_Nubes=altas}) = 1$

Para este caso se activa la regla 2, por lo tanto:

R3 = IF(Navegacion_Vientos IS buena) AND (Categoria_Escala IS buena) AND (Altura_Nubes IS altas) THEN (Clasificacion_Dia IS excelente)

Se utiliza el minimo

R3 = min (0.96, 0.65, 1) THEN (Clasificacion_Dia IS excelente)

Clasificacion_Dia = 0.6

7.-

Haremos 6 casos de prueba probando diferentes configuraciones de parámetros:

Primer caso:

Dirección de navegación: 0°

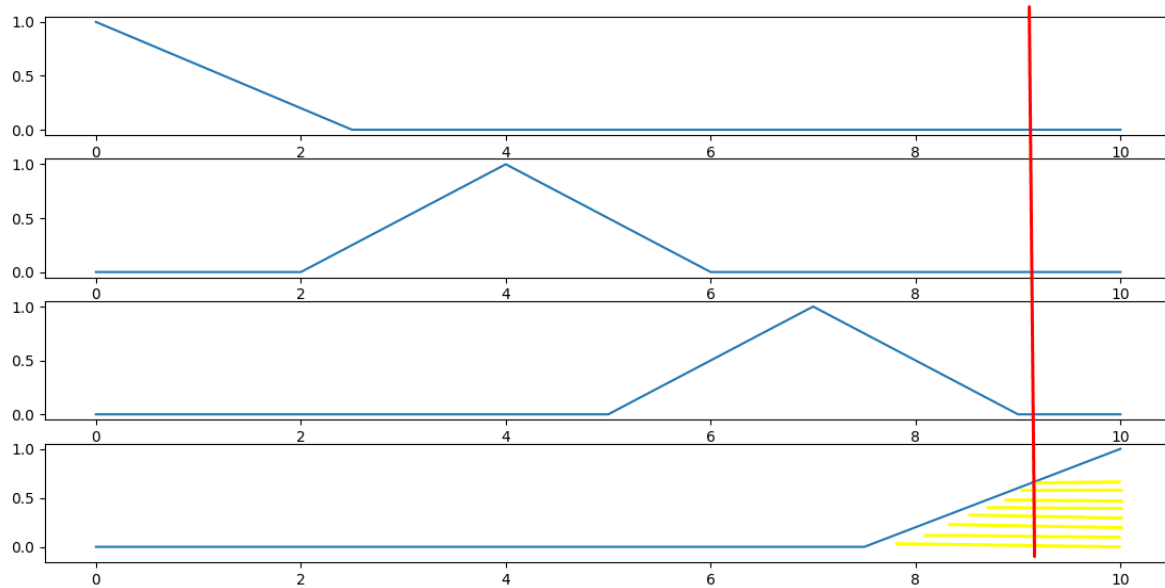
Dirección del viento: 0°

Altura de las nubes: 10000m

Categoría del barco: A

Velocidad del viento: 30 Nudos

Clasificación del día: 9,16



Segundo caso:

Dirección de navegación: 50°

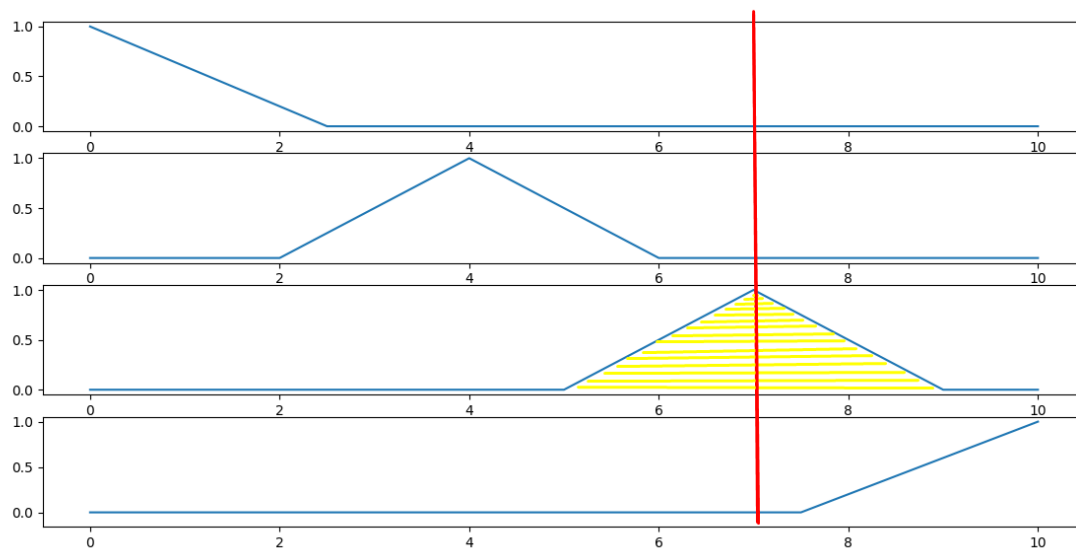
Dirección del viento: 180°

Altura de las nubes: 7500m

Categoría del barco: B

Velocidad del viento: 10 Nudos

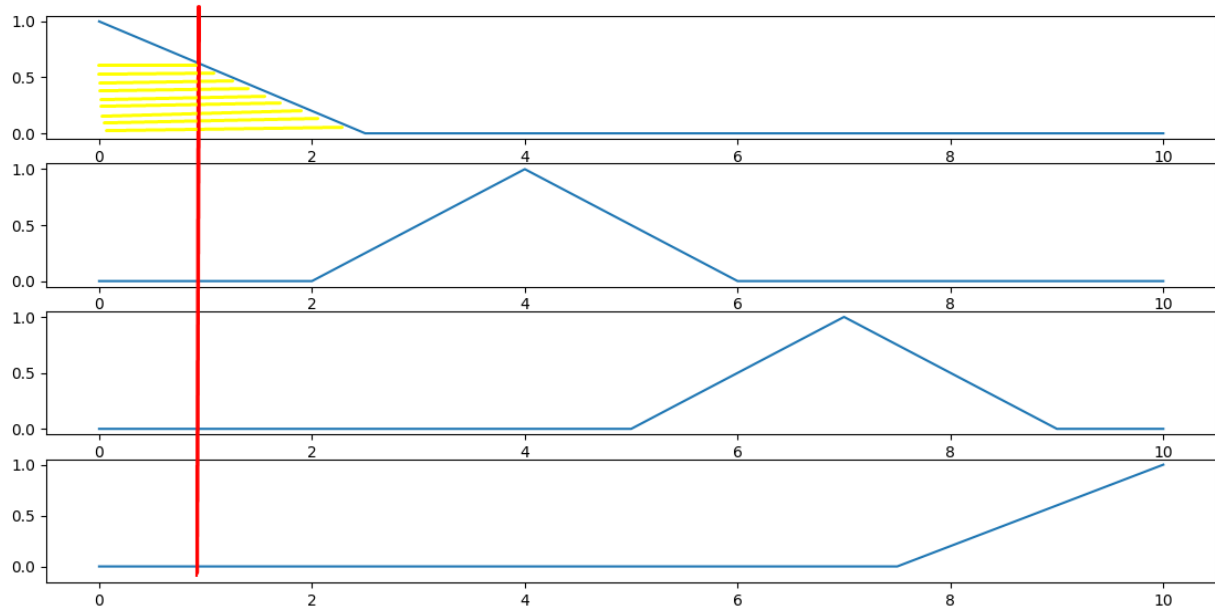
Clasificación del día: 7,04



Tercer caso:

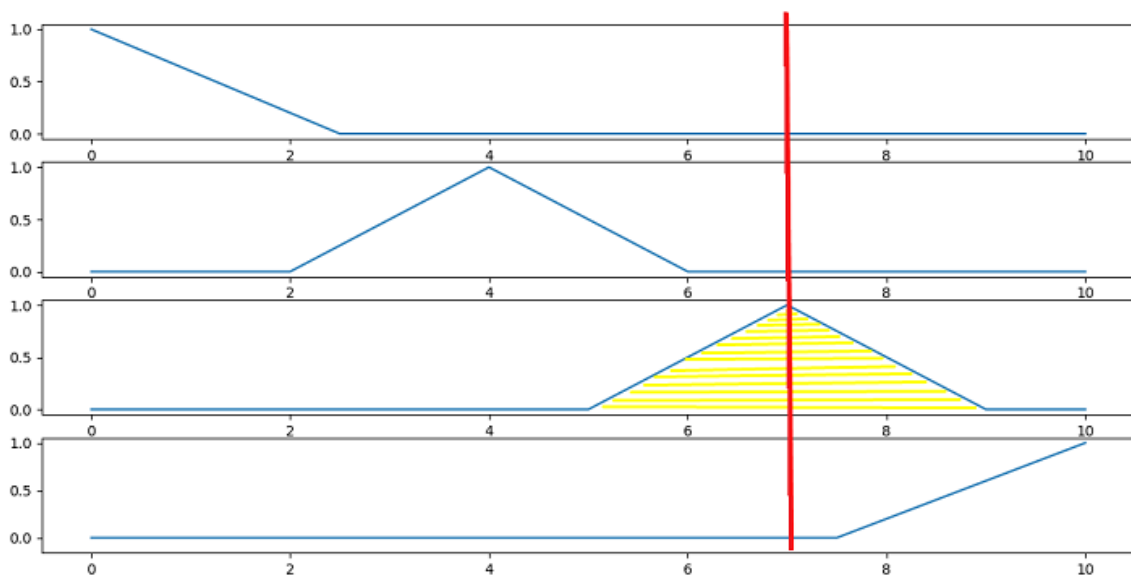
Dirección de navegación: 90°
Dirección del viento: 270°
Altura de las nubes: 2000m
Categoria del barco: C
Velocidad del viento: 50 Nudos

Clasificación del día: 0,92

**Cuarto caso:**

Dirección de navegación: 180°
Dirección del viento: 90°
Altura de las nubes: 8000m
Categoria del barco: B
Velocidad del viento: 30 Nudos

Clasificación del día: 6,99



Quinto caso:

Dirección de navegación: 0°

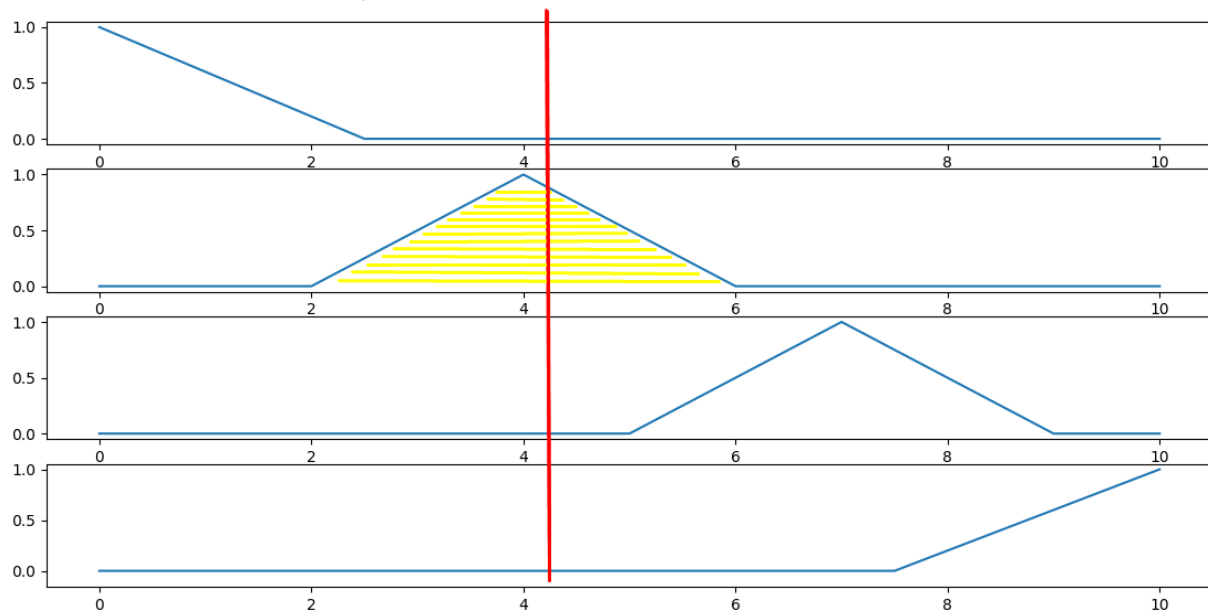
Dirección del viento: 235°

Altura de las nubes: 4000m

Categoría del barco: A

Velocidad del viento: 40 Nudos

Clasificación del día: 4,24



Sexto caso:

Dirección de navegación: 0°

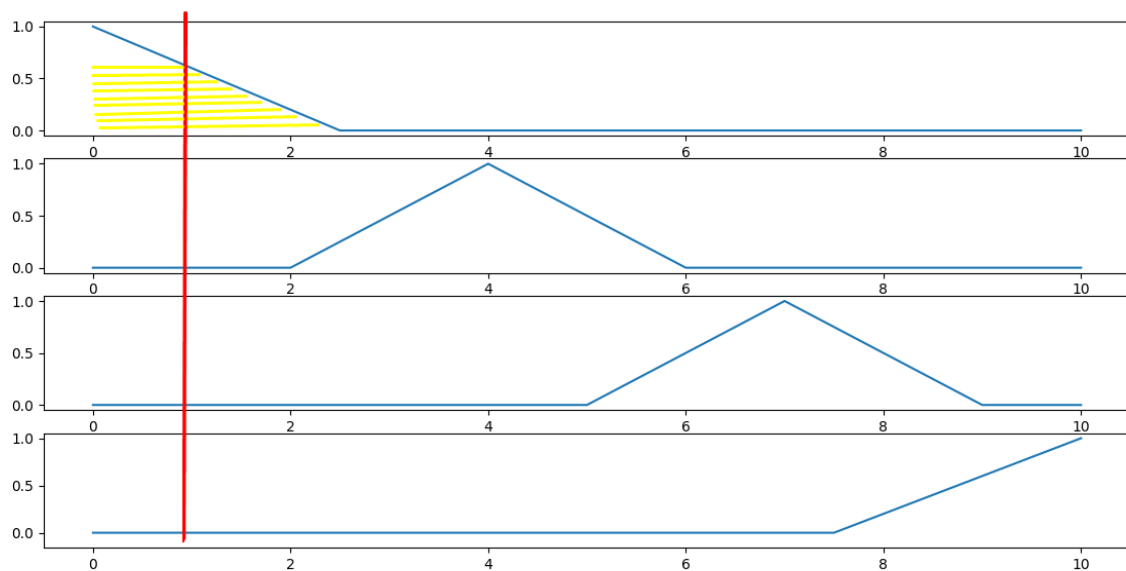
Dirección del viento: 360°

Altura de las nubes: 10000m

Categoría del barco: D

Velocidad del viento: 20 Nudos

Clasificación del día: 0,89



8.-

Considerando los 6 casos de prueba, en los cuales se intentó crear configuraciones de parámetros lo mas diversas posibles, y con ayuda del experto se revisan las salidas para cada uno de los casos y se llega a la conclusión de que el sistema cumple con su objetivo ya que se tienen en cuenta los aspectos claves para el análisis de las condiciones generales a la hora de salir a navegar. Un ejemplo de esto ultimo es el sexto caso, en el cual todas las condiciones son ideales para salir a navegar, excepto la categoría de la embarcación con la que se cuenta, la cual no esta hecha para soportar viento de 20 nudos, por eso la calificación del dia que nos da de salida es muy baja.