

Informe Microproyecto 1: E-Movilidad Y Transporte

Ángel Maya Emmanuel, Orozco López Luisa Fernanda, Zapata Querubín Emanuel

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Sede Medellín

emangelma@unal.edu.co

lforozcolo@unal.edu.co

ezapataq@unal.edu.co

I. PROBLEMA A RESOLVER

II. JUSTIFICACIÓN

Analizar las condiciones de una ruta con el fin de establecer parámetros que garanticen una movilidad óptima y transportes sostenibles que permitan reducir la huella de carbono. Específicamente, se busca resolver el problema de cuál es la mejor forma de transportarse de un punto a otro de manera que se reduzca el impacto ambiental en dicha movilización, teniendo en cuenta que, según el artículo Transporte y Cambio Climático: Hacia un Desarrollo Sostenible y de Bajo Carbono (Revista Transporte y Territorio N°6, 2012), “el sector transporte es el de mayor y más acelerado crecimiento en emisiones de gases de efecto invernadero responsable del 13,1% del total, y su inclusión dentro de las iniciativas de mitigación es de vital importancia para lograr la meta consensuada de limitar el cambio climático”

A. Función Principal

Sistema de Inferencia Difusa:

Con este sistema se busca establecer el *Nivel de Congestión* y el ahorro o retraso en el *Tiempo* óptimo que se obtienen en una ruta particular a partir de las variables lingüísticas de *Clima*, *Flujo Vehicular Medio*, *Nivel de obstaculización* y *Velocidad Promedio* de los vehículos en dicha ruta. Lo anterior es teniendo en cuenta que el sistema podría tener acceso a información de sensores y satélites que hacen seguimiento a las vías, como una característica importante de la movilidad inteligente, y a partir de allí calcule las variables de salida que serán utilizadas por el sistema experto para recomendar el mejor medio de transporte en dicho trayecto.

Sistema Experto de Recomendación:

El objetivo es que a partir de las variables de entrada, que serían las variables de salida del Sistema de Inferencia Difusa, sumado a variables como *Distancia*, *Clima*, *Pendiente promedio de la ruta*, entre otras, el sistema pueda recomendar diferentes medios de transporte (sostenible, eléctrico o, en el peor de los casos, tradicional) y hacer énfasis en el más adecuado para llegar a su lugar de destino según lo indicado por el FIS y las demás variables mencionadas, añadiendo el cálculo de la huella de carbono o nivel de contaminación que produce el sistema de transporte recomendado. Cabe resaltar que la huella de carbono sería, por un lado, un parámetro utilizado por el Sistema Experto para decidir cuál es el medio de transporte óptimo y, por otro lado un dato final al usuario mostrado con el fin de que éste tenga conocimiento del impacto ambiental que genera dicha forma de transporte.

A. Justificación

- Al momento de hablar sobre la congestión de una vía, usualmente se piensa en términos de qué tantos carros hay, qué tan rápida es la movilidad o cuáles son las condiciones generales de una vía. Así, la lógica difusa permite relacionar estas variables difusas para inferir el nivel de congestión de una vía.
- Para realizar la inferencia del nivel de congestión en una vía, la utilización de lógica difusa resulta de gran ayuda ya que no requiere de relaciones matemáticas como ecuaciones complejas para su implementación sino que sólo se basa en funciones de pertenencia que son datos numéricos básicos que se relacionan unos con otros.
- Las variables lingüísticas que se pretenden utilizar pueden relacionarse fácilmente mediante reglas que funcionan similar a como lo haría el pensamiento humano, permitiendo un resultado final coherente.

B. Nombre de los Sistemas

El *Sistema de Inferencia Difusa* lleva el nombre de Condición_Vía_FIS.

El *Sistema Experto de Recomendación* lleva el nombre de Recomendación_E_Vehículo.

C. Utilidad del Sistema Experto

La utilidad de este sistema de recomendación es darle a la persona opciones de medios de transporte adecuados para recorrer la distancia deseada, teniendo en cuenta diferentes parámetros medidos en tiempo real (se asume que se está en una ciudad inteligente). Con estas opciones, la persona podrá elegir siendo consciente de cuál es el que menor huella de carbono produce (idealmente).

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA

A. Variables Lingüísticas

Entrada:

- *Clima*: Hace referencia a las condiciones climáticas al momento de realizar el recorrido. Se mide como un puntaje de 0 a 10, siendo 10 el clima ideal (Soleado) y 0 el peor de los casos (Una tormenta eléctrica).
- *Flujo Vehicular Medio*: Esta es la cantidad de vehículos por minuto que pasan en promedio a lo largo de la vía. Va de 0 a 100.

- *Velocidad Promedio*: Definida como la velocidad promedio de los vehículos durante el recorrido. Va de 0 a 100 Km/h.
- *Nivel de Obstaculización*: Entendido como la cantidad de elementos y situaciones presentes en el recorrido que afectan la óptima movilidad, tales como semáforos, accidentes, condición de la vía, etc. Se mide como un puntaje que va de 0 a 10, donde 0 hace referencia a que no hay elementos que presenten un retraso en el recorrido, y 10 significa que hay demasiados elementos externos que pueden aumentar el tiempo del recorrido.

Salida:

- *Nivel de Congestión*: Ésta relaciona un valor cuantitativo a la congestión a lo largo del recorrido, es decir, una referencia a qué tal está la movilidad. Se mide con un puntaje de 0 a 10, donde 0 hace relación a que la vía está libre y es fácil recorrerla en automóvil y 10 es que posiblemente haya “trancón” presente en el recorrido.
- *Porcentaje Sobre el Tiempo Óptimo*: Hace referencia a qué tanto se aumentará o se reducirá la duración del recorrido respecto a un tiempo estándar u óptimo conocido. Así, bajo condiciones ideales, el tiempo total del recorrido será de la mitad (50% del tiempo estándar), mientras para la peor situación posible, éste será el doble del tiempo estándar (200%).

B. Conjuntos Difusos y Funciones de Pertenencia

- *Clima*: Se definió una función con forma triangular para Pésimo (0 0 4), Regular (2.5 5 7.5) y Excelente (6 10 10).
- *Flujo Vehicular Medio*: Para esta variable, se usó una función trapezoidal para los conjuntos Bajo (0 0 10 20) y Alto (45 70 100 100). Para el conjunto Medio, se usó una función triangular (10 35 60).
- *Velocidad Promedio*: Se implementó una función trapezoidal para definir los conjuntos Baja (0 0 15 35) y Alta (50 70 100 100). Para Media se usó una función triangular (25 43 60).
- *Nivel de Obstaculización*: Para esta variable, se tienen funciones de forma triangular para Bajo (0 0 4), Medio (2 5 8) y Alto (6 10 10).
- *Nivel de Congestión*: Acá se empleó función con forma trapezoidal para los conjuntos Bajo (0 0 2 4) y Alto (6 8 10 10). Mientras que en el caso del conjunto Medio (3 5 7) se usa una forma triangular.
- *Porcentaje sobre el Tiempo Óptimo*: En este caso, para los conjuntos Excelente (50 50 70 90) y Pésimo (110 130 200 200) se usa función trapezoidal, y para el conjunto Estándar (90 100 120) se usa función con forma triangular.

C. Reglas de Inferencia Difusa

- 1) If (FlujoVehicular is Bajo) and (VelocidadPromedio is Baja) then (NivelCongestión is Alto) and (PorcentajeTiempoOptimo is Pesimo)
- 2) If (FlujoVehicular is Bajo) and (VelocidadPromedio is Baja) and (EstadoClima is Pesimo) then (NivelCongestión is Alto)(PorcentajeTiempoOptimo is Pesimo)
- 3) If (FlujoVehicular is Bajo) and (VelocidadPromedio is Baja) and (EstadoClima is Pesimo) and

- (NivelObstaculizacion is Alto) then (NivelCongestión is Alto)(PorcentajeTiempoOptimo is Pesimo)
- 4) If (EstadoClima is Pesimo) and (NivelObstaculizacion is Alto) then (NivelCongestión is Alto)(PorcentajeTiempoOptimo is Pesimo)
- 5) If (FlujoVehicular is Alto) and (VelocidadPromedio is Alta) then (NivelCongestión is Bajo)(PorcentajeTiempoOptimo is Excelente)
- 6) If (FlujoVehicular is Alto) and (VelocidadPromedio is Alta) and (EstadoClima is Excelente) then (NivelCongestión is Bajo)(PorcentajeTiempoOptimo is Excelente)
- 7) If (FlujoVehicular is Alto) and (VelocidadPromedio is Alta) and (EstadoClima is Excelente) and (NivelObstaculizacion is Bajo) then (NivelCongestión is Bajo)(PorcentajeTiempoOptimo is Excelente)
- 8) If (EstadoClima is Excelente) and (NivelObstaculizacion is Bajo) then (NivelCongestión is Bajo)(PorcentajeTiempoOptimo is Excelente)
- 9) If (FlujoVehicular is Bajo) and (VelocidadPromedio is Alta) then (NivelCongestión is Bajo)(PorcentajeTiempoOptimo is Excelente)
- 10) If (FlujoVehicular is Bajo) and (VelocidadPromedio is Media) and (EstadoClima is Pesimo) and (NivelObstaculizacion is Alto) then (NivelCongestión is Bajo)(PorcentajeTiempoOptimo is Estandar)
- 11) If (FlujoVehicular is Bajo) and (VelocidadPromedio is Media) and (EstadoClima is Regular) and (NivelObstaculizacion is Medio) then (NivelCongestión is Bajo)(PorcentajeTiempoOptimo is Estandar)
- 12) If (FlujoVehicular is Alto) and (VelocidadPromedio is Baja) then (NivelCongestión is Alto)(PorcentajeTiempoOptimo is Estandar)
- 13) If (FlujoVehicular is Alto) and (VelocidadPromedio is Media) and (EstadoClima is Excelente) and (NivelObstaculizacion is Bajo) then (NivelCongestión is Medio)(PorcentajeTiempoOptimo is Excelente)
- 14) If (FlujoVehicular is Alto) and (VelocidadPromedio is Baja) and (EstadoClima is Pesimo) and (NivelObstaculizacion is Alto) then (NivelCongestión is Alto)(PorcentajeTiempoOptimo is Pesimo)
- 15) If (FlujoVehicular is Medio) and (VelocidadPromedio is Media) and (EstadoClima is Regular) and (NivelObstaculizacion is Medio) then (NivelCongestión is Medio)(PorcentajeTiempoOptimo is Estandar)
- 16) If (FlujoVehicular is Medio) and (VelocidadPromedio is Media) and (EstadoClima is Excelente) and (NivelObstaculizacion is Bajo) then (NivelCongestión is Medio)(PorcentajeTiempoOptimo is Estandar)
- 17) If (FlujoVehicular is Medio) and (VelocidadPromedio is Media) and (EstadoClima is Pesimo) and (NivelObstaculizacion is Alto) then (NivelCongestión is Alto)(PorcentajeTiempoOptimo is Pesimo)
- 18) If (FlujoVehicular is Medio) and (VelocidadPromedio is Baja) and (EstadoClima is Excelente) and (NivelObstaculizacion is Bajo) then (NivelCongestión is Medio)(PorcentajeTiempoOptimo is Estandar)
- 19) If (FlujoVehicular is Medio) and (VelocidadPromedio is Baja) and (EstadoClima is Pesimo) and (NivelObstaculizacion is Alto) then (NivelCongestión is

Alto)(PorcentajeTiempoOptimo is Pesimo)

- 20) If (FlujoVehicular is Medio) and (VelocidadPromedio is Alta) and (EstadoClima is Regular) and (NivelObstaculizacion is Bajo) then (NivelCongestión is Bajo)(PorcentajeTiempoOptimo is Excelente)
- 21) If (FlujoVehicular is Medio) and (VelocidadPromedio is Alta) and (EstadoClima is Pesimo) and (NivelObstaculizacion is Medio) then (NivelCongestión is Medio)(PorcentajeTiempoOptimo is Estandar)
- 22) If (FlujoVehicular is Alto) and (VelocidadPromedio is Baja) and (EstadoClima is Regular) and (NivelObstaculizacion is Alto) then (NivelCongestión is Alto)(PorcentajeTiempoOptimo is Pesimo)
- 23) If (FlujoVehicular is Medio) and (VelocidadPromedio is Media) and (EstadoClima is Excelente) and (NivelObstaculizacion is Alto) then (NivelCongestión is Medio)(PorcentajeTiempoOptimo is Estandar)

La semántica de construcción de dichas reglas se basó en casos cotidianos presentes en las vías según nuestra experiencia y a partir de allí se relacionaron todas las variables de entrada para que diera lugar a una construcción lógica y coherente de las variables de salida.

D. Captura Despliegue del Sistema de Inferencia Difusa

La Fig.1 (se encuentra al final del documento) representa el despliegue del Sistema de Inferencia Difusa con las 23 reglas definidas y sus respectivas interfaces gráficas.

E. Casos de estudio del Sistema de Inferencia Difusa

Primer caso: En la Fig.2 (se encuentra al final del documento) se tiene un flujo vehicular medio de 16.2 vehículos/min, una velocidad promedio de 22.6km/h, un estado del clima de 3.06 y un nivel de obstaculización de 7.2 como variables de entrada. Ante estos datos, el programa arroja un nivel de congestión de 8.21 y un porcentaje de tiempo de 157%. El valor de flujo vehicular medio pertenece tanto al conjunto bajo como al conjunto medio, la velocidad es baja, el estado del clima entre pésimo y estándar, y, por último, el nivel de obstaculización está entre medio y alto. Dada esta información, se puede suponer que el caso de estudio es un recorrido con situación de “trancón”, pues la cantidad de vehículos por minuto que atraviesan este recorrido es bajo, y la velocidad de los autos en el recorrido igual es baja. Por otro lado, el clima puede asumirse como lluvioso o que no es el mejor para situaciones de movilidad, y el nivel de obstaculización indica que hay muchos elementos externos presentes en el trayecto. Teniendo en cuenta todo lo anterior, se espera que el tiempo sea mayor al tiempo estándar y que la vía tenga un nivel de congestión alto, y, efectivamente esto se ve reflejado en los datos impresos por el programa.

Segundo caso: Para este caso según la Fig. 3 (se encuentra al final del documento), se tiene un flujo vehicular medio de 50.8 vehículos/min, una velocidad promedio de 82.7 km/h, el estado del clima es de 6.73 y el nivel de obstaculización de 2.9. Para los datos de salida se tiene un nivel de congestión de 1.84 y un porcentaje de tiempo óptimo de 68.3%. Para esta situación, el flujo vehicular estará entre el conjunto alto y medio, la velocidad promedio será alta, el clima estará entre estándar y excelente, y el nivel de obstaculización estará entre medio y bajo.

Con estos conjuntos de pertenencia, se puede asumir que se trata de una situación en la que se facilita la movilidad en este recorrido, pues hay un flujo vehicular decente, la velocidad promedio de los vehículos es alta, el clima no representa ningún problema y el nivel de obstaculización puede hacer referencia a que simplemente hay algunos semáforos u otros elementos que no presentan un problema grave de movilidad. Por lo tanto, tienen sentido los valores arrojados por el sistema, pues la congestión es baja y el porcentaje de tiempo óptimo es excelente.

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

El sistema tiene 9 tipos de medios de transporte que puede recomendar: Carro, Carro Eléctrico, Moto, Moto Eléctrica, Bus, Metro, Scooter Eléctrica, Bicicleta y A Pie. A cada uno de estos medios le asigna unas reglas que condicionan la recomendación o no de dicho medio de acuerdo a las variables de entrada, con el fin de hacer un viaje lo más cómodo posible y ambientalmente amigable. Estas últimas serían las variables de salida del Sistema de Inferencia Difusa, sumado a la distancia de la ruta en kilómetros, el tiempo óptimo o estándar en minutos, si está lloviendo o no y la pendiente máxima a lo largo del recorrido en °. Después de hacer las recomendaciones, ya que para ciertas condiciones el sistema podría recomendar más de un medio de transporte, se recomienda al usuario usar el medio de transporte que le permita cuidar mejor del medio ambiente proporcionando información de la huella de carbono en orden de menor a mayor impacto ambiental.

A. Obtención de la base de conocimientos

Para crear la base de conocimientos de este sistema, nuestro equipo de trabajo fue el experto para realizar el análisis de resultados en base también a nuestra experiencia y dándole sentido lógico y coherente para recomendar cada uno de los medios de transporte de acuerdo a las variables de entrada.

La información de los valores de la huella de carbono dadas también por el Sistema Experto fueron extraídas en base a la noticia “Climate change: Should you fly, drive or take the train?; BBC News; 2019” donde nos brinda la información de las emisiones de diferentes medios de transporte dadas en gCO₂ por pasajero por kilómetro recorrido. A partir de allí se hace el cálculo de las emisiones de CO₂ que el usuario genera dependiendo de la distancia que recorre y del medio de transporte que seleccionaría, donde dicha información está disponible para el usuario con el fin de concientizar el impacto al ambiente que va a generar dependiendo de su elección.

B. Consultas de recomendación

Primera consulta: En la Fig. 4 se establecen las entradas para el Sistema de Recomendación, las cuales producen lo siguiente: el nivel de congestión con un valor de 9, que es alto, descarta los medios de transporte como Carro, Carro Eléctrico, Bus, Moto y Moto Eléctrica dado que la condición de la vía no es la mejor para movilizarse; como la distancia es de 1km, que es relativamente corta, se descarta el Metro y quedan habilitados el viaje a pie, en Scooter y en Bicicleta, que también son recomendados ya que no está lloviendo. Luego, como la pendiente máxima del trayecto no es tan alta, es viable viajar en Bicicleta y Scooter. Por último, gracias a la información de la

huella de carbono que otorga el sistema, presentada en la Fig. 5, se concluye que el mejor medio de transporte sería la Bicicleta, ya que es la que menor tiempo tarda de las recomendaciones que menos impacto al ambiente generan.

Ingresar el Nivel de Congestión inferido por el FIS (Decimal separado por punto):	9
Ingresar el Porcentaje sobre el tiempo óptimo inferido por el FIS (en %):	120
¿Cuál es la distancia del recorrido? (en kilómetros)	1
¿Cuál es el tiempo óptimo del recorrido? (en minutos y considerando un recorrido en carro)	20
¿Está lloviendo? Responda si o no	no
¿Cuál es la pendiente máxima que presenta el recorrido? (en °)	10

Fig. 4. Entrada SE para Caso 1

Se proporcionará información del valor de la huella de carbono que imprime el uso de los medios de transporte recomendados. Esta indica el impacto ambiental que conlleva movilizarse con dicho vehículo
Se recomienda viajar en BICICLETA, el tiempo estimado del recorrido el recorrido es 3.3333333333333335 minutos y el valor de la huella de carbono es 0 gCO2
true
Se recomienda viajar en SCOOTER ELÉCTRICA, el tiempo estimado del recorrido el recorrido es 2.4 minutos y el valor de la huella de carbono es 4.6 gCO2
Se recomienda viajar A PIE, el tiempo estimado del recorrido el recorrido es 12 minutos y el valor de la huella de carbono es 0 gCO2
Se invita fervorosamente a emplear el medio de transporte que menos impacto tenga sobre el medio ambiente, teniendo en cuenta la siguiente información
EMISIONES DE CO2 PARA TU RECORRIDO SEGÚN EL MEDIO DE TRANSPORTE (en gCO2)
PIE 0
BICICLETA 0
SCOOTER 4.6
METRO 14
MOTO ELÉCTRICA 40
CARRO ELÉCTRICO 50
BUS 68
MOTO 72
CARRO 171

Fig. 5. Salida SE para Caso 1

Segunda consulta: En la Fig. 6 se establecen las entradas para el Sistema de Recomendación, las cuales producen lo siguiente: Para la congestión ingresada en el programa (5), no se descarta ningún medio de transporte, por lo tanto, se continúa con la siguiente entrada que influye en la selección, es decir, la distancia. Como la distancia total del recorrido son 25 km, se descarta el uso de Bicicleta y el viaje a Pie. A continuación se evalúan las condiciones climáticas. Dado que está lloviendo, se descarta el uso de Moto, Moto Eléctrica y Scooter, debido a que son vehículos que no ofrecen resguardo de la lluvia. Por último, el programa evalúa los vehículos más adecuados para una pendiente de 25°, pero como todos los que quedan como posibles sugerencias cumplen este criterio, entonces el programa los recomienda todos, los cuales son: Carro, Carro Eléctrico, Bus y Metro. Además, el programa imprime la huella de carbono (Fig. 7) que deja el uso de cada uno de estos vehículos para realizar este recorrido.

Ingresar el Nivel de Congestión inferido por el FIS (Decimal separado por punto):	5
Ingresar el Porcentaje sobre el tiempo óptimo inferido por el FIS (en %):	100
¿Cuál es la distancia del recorrido? (en kilómetros)	25
¿Cuál es el tiempo óptimo del recorrido? (en minutos y considerando un recorrido en carro)	40
¿Está lloviendo? Responda si o no	si
¿Cuál es la pendiente máxima que presenta el recorrido? (en °)	25

Fig. 6. Entrada SE para Caso 2

Se proporcionará información del valor de la huella de carbono que imprime el uso de los medios de transporte recomendados. Esta indica el impacto ambiental que conlleva movilizarse con dicho vehículo
Se recomienda viajar en CARRO, el tiempo estimado del recorrido el recorrido es 40 minutos y el valor de la huella de carbono es 4275 gCO2
true
Se recomienda viajar en CARRO ELÉCTRICO, el tiempo estimado del recorrido el recorrido es 40 minutos y el valor de la huella de carbono es menor a 1250 gCO2
Se recomienda viajar en BUS, el tiempo estimado del recorrido el recorrido es 40 minutos y el valor de la huella de carbono es 1700 gCO2
Se recomienda viajar en METRO, el tiempo estimado del recorrido el recorrido es 37.5 minutos y el valor de la huella de carbono es 350 gCO2
Se invita fervorosamente a emplear el medio de transporte que menos impacto tenga sobre el medio ambiente, teniendo en cuenta la siguiente información
EMISIONES DE CO2 PARA TU RECORRIDO SEGÚN EL MEDIO DE TRANSPORTE (en gCO2)
PIE 0
BICICLETA 0
SCOOTER 114.99999999999999
METRO 350
MOTO ELÉCTRICA 1000
CARRO ELÉCTRICO 1250
BUS 1700
MOTO 1800
CARRO 4275

Fig. 7. Salida SE para Caso 2

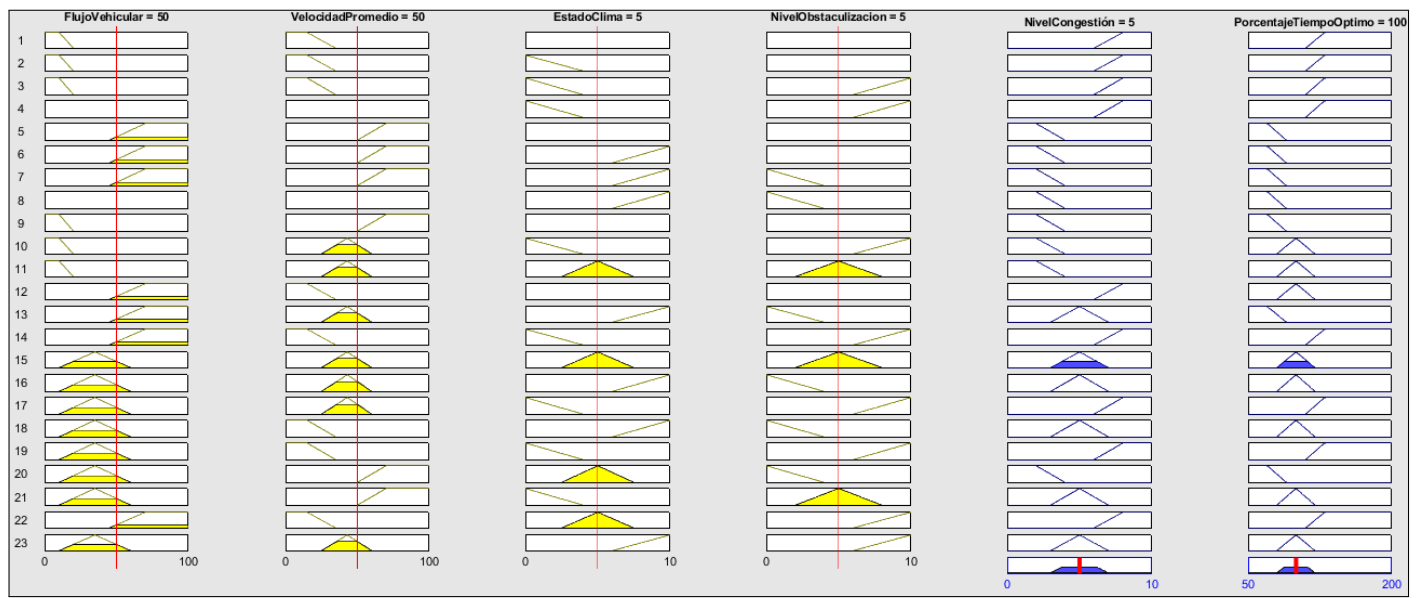


Fig. 1. Despliegue del Sistema de Inferencia Difusa

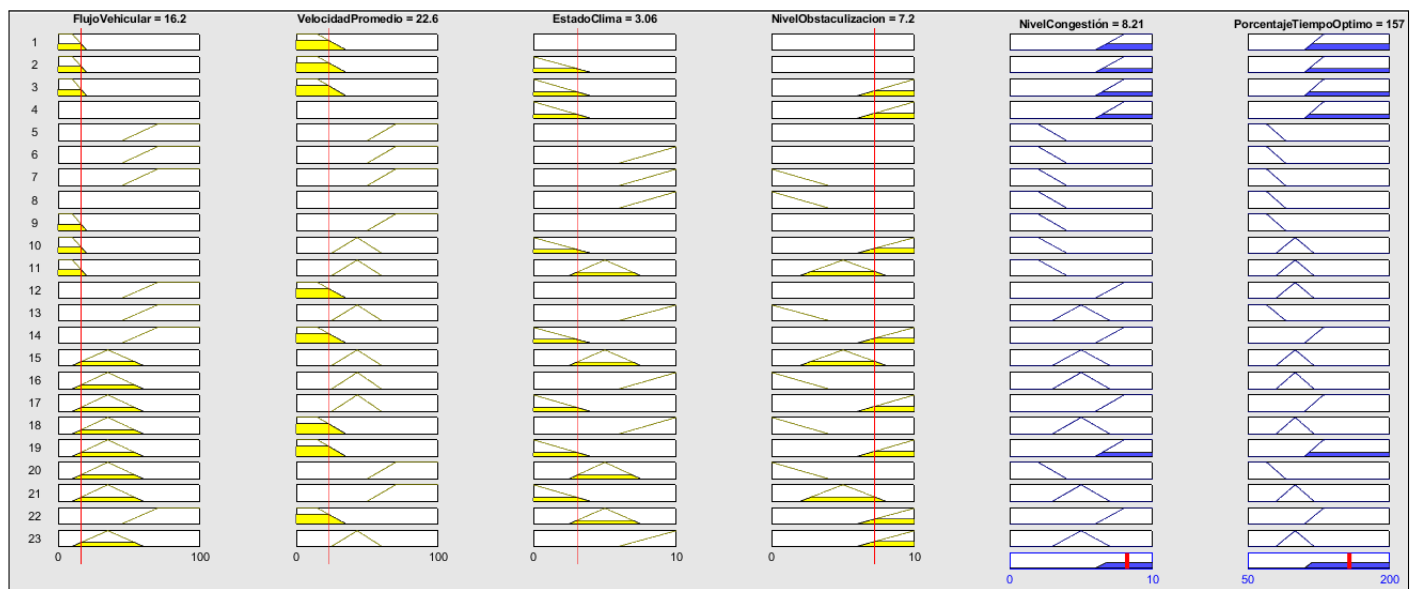


Fig. 2. Caso de Estudio 1 para el FIS

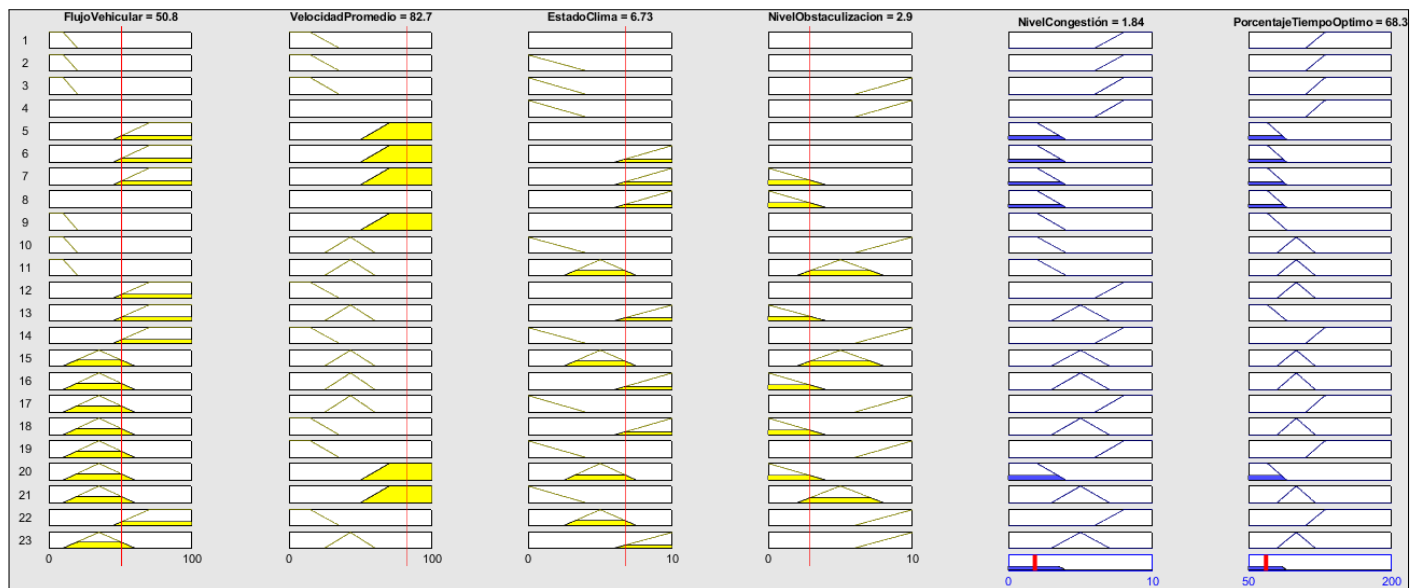


Fig. 3. Caso de Estudio 2 para el FIS