



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Ciencias y Sistemas

# **INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA UTILIZANDO REDES NEURONALES**

**Carlos Olivio Natareno Yanes**

Asesorado por el Ing. Hugo Rolando Vélez Vásquez

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TRÁNSITO EN LA  
CUIDAD DE GUATEMALA UTILIZANDO REDES NEURONALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**CARLOS OLIVIO NATARENO YANES**

ASESORADO POR EL ING. HUGO ROLANDO VÉLEZ VÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marlon Antonio Pérez Turk
EXAMINADORA	Inga. Sonia Yolanda Castañeda
EXAMINADORA	Inga. Floriza Felipa Ávila Pesquera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA UTILIZANDO REDES NEURONALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, con fecha julio de 2011.



A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, enclosed within a large, irregular oval shape.

**Carlos Olivio Natareno Yanes**

Guatemala 15 de julio 2013

Señores

Comisión de Revisión de Trabajo de Graduación

Carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, Ciudad

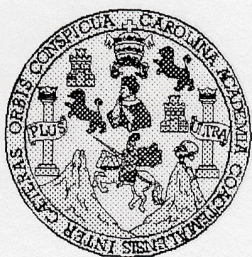
Respetables Señores

el motivo de la presente es para informarles que como asesor del estudiante Carlos Olivio Natareno Yanes he procedido a revisar el trabajo de graduación titulado " **INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA UTILIZANDO REDES NEURONALES** " y de acuerdo a mi criterio, el mismo se encuentra concluido y cumple con los objetivos al inicio.

sin otro particular atentamente me suscribo de ustedes.



Ing. Hugo Velez  
Infraestructura y Telecomunicaciones  
Dirección de Tecnologías de la Información  
Ministerio de Finanzas Públicas de Guatemala  
Sa. Avenida 20-65 Z.1, Torre de Finanzas Nivel 6, Centro Cívico  
☎PBX: 2322-8888 ext. 10610



Universidad San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 07 de Agosto de 2013

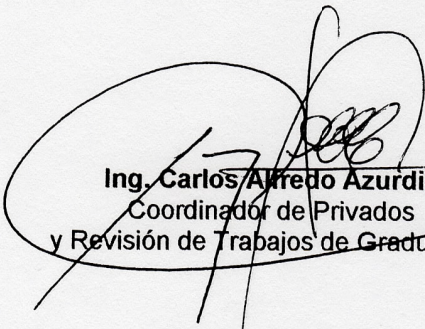
Ingeniero  
**Marlon Antonio Pérez Turk**  
Director de la Escuela de Ingeniería  
En Ciencias y Sistemas

Respetable Ingeniero Pérez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **CARLOS OLIVIO NATARENO YANES** carné **2000-11522**, titulado: **"INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA UTILIZANDO REDES NEURONALES"**, y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, según el protocolo.

Al agradecer su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para suscribirme,

Atentamente,

  
**Ing. Carlos Alfredo Azurdia**  
Coordinador de Privados  
y Revisión de Trabajos de Graduación



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE CIENCIAS Y SISTEMAS  
TEL: 24767644

E  
S  
C  
U  
L  
A

D  
E

C

I

E

N

C

I

A

S

Y

S

I

S

T

E

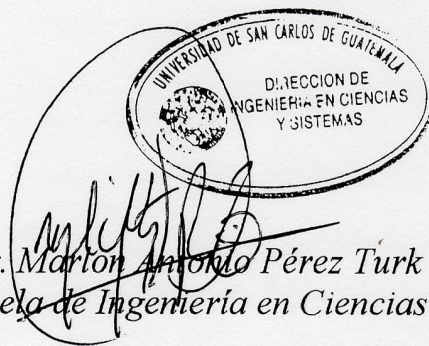
M

A

S

*El Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor con el visto bueno del revisor y del Licenciado en Letras, del trabajo de graduación **“INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA UTILIZANDO REDES NEURONALES”**, realizado por el estudiante CARLOS OLIVIO NATARENO YANES, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.*

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



*Ing. Marión Antonio Pérez Turk*  
*Director, Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas*

*Guatemala, 27 de agosto 2013*

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

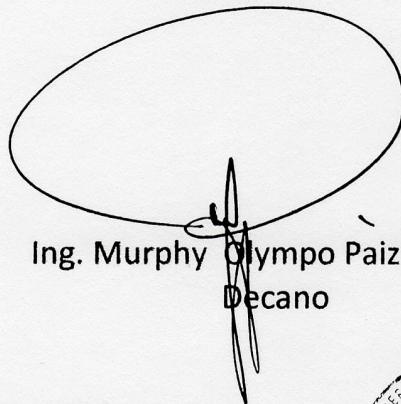


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 594.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, al Trabajo de Graduación titulado: **INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA UTILIZANDO REDES NEURONALES**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Olivio Natareno Yanes**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 27 de agosto de 2013

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Por ser la fuente de sabiduría, por iluminar el sendero de mi vida y por manifestarse a través de las personas que aquí menciono.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Dios**

Por darme fuerza y ánimo para seguir adelante.

**Mi familia**

Por brindarme todo su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Inteligencia Artificial (IA) .....	1
1.2. Redes neuronales .....	7
1.2.1. Ventajas que ofrecen las redes neuronales.....	10
1.2.2. Fundamentos de las redes neuronales.....	11
1.2.3. Elementos de una red neuronal artificial.....	14
1.2.4. Unidad de procesos: la neurona artificial .....	18
1.2.5. Función de salida o transferencia .....	20
1.2.6. Conexiones entre neuronas.....	22
1.2.7. Regla de aprendizaje .....	28
1.3. Modelos matemático .....	31
1.3.1. Regla de aprendizaje.....	33
1.4. Semáforos inteligentes .....	39
2. MARCO PRÁCTICO .....	47
2.1. Caso de estudio.....	47
2.2. Análisis de información en el tráfico a las horas pico .....	49
2.3. Utilización de la herramienta tiberius.....	51
2.4. Emulación de información a las redes neuronales .....	52

2.5.	Obtención de resultados .....	55
3.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	59
3.1.	Resultados del análisis de la información .....	59
3.2.	Comparación del estudio con otros países donde ya fue implementado.....	59
3.3.	Esquema a utilizar después del análisis de resultados .....	61
3.4.	Factibilidad de implementación del sistema .....	62
3.5.	Casos de aplicación en otros países.....	63
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES .....	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	ANEXOS.....	71

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Acercamiento descendente y ascendente a la inteligencia .....	3
2.	Grafica matemática que representa comportamiento de la inteligencia artificial .....	5
3.	Estructura de una neurona biológica típica .....	12
4.	Rumelhart modelo genérico de neurona artificial .....	14
5.	Arquitectura unidireccional de tres capas, de entrada oculta y de salida.....	15
6.	Comparaciones de neurona biológica y neurona artificial .....	16
7.	Modelo de neurona estándar .....	17
8.	Gráfica de función de activación escalón .....	25
9.	Gráfica de función de activación escalón .....	26
10.	Gráfica de función de activación lineal - mixta .....	27
11.	Gráfica de función de activación sigmoidea .....	28
12.	Ejemplos de conexiones .....	30 y 30
13.	Red ADALINE, compuesta por un combinador adaptativo lineal y una función de salida .....	32
14.	Semáforos instalados actualmente en la ciudad capital.....	40
15.	Prototipo de sensor de semáforo inteligente de IBM.....	42
16.	Circuito vehicular inteligente .....	43
17.	Conectividad total con el controlador de semáforo y conexión a la central.. .....	44
18.	Sensores vehiculares para detectar el transporte que llegue a la parada.....	45

19.	Muestra el cambio de la tasa de llegada de los vehículos en diferentes horarios .....	50
20.	Porcentaje de vehículos que transitan en la zona 1 en diferentes horarios en el 2011 .....	50
21.	Porcentaje de vehículos que transitan en la zona 1 en diferentes horarios en el 2013 .....	51
22.	Red neuronal proporcionada por la herramienta donde $x_1$ y $x_2$ son sensores y determina si el semáforo debe estar verde o rojo.....	52
23.	Red neuronal proporcionada por la herramienta donde $x_1$ , $x_2$ , $x_3$ y $x_4$ son sensores y determina si el semáforo debe estar verde o rojo.....	54
24.	conectividad total con un servidor central de las cámara.....	61
25.	Centralización de los semáforos .....	62

## TABLAS

I.	Ubicación exacta de los semáforos LED vehiculares y peatonales, cantidad de los mismos en las zonas 1 y 4.....	48
II.	Proporciona un promedio diario se la cantidad de vehículos que transitan a horarios diferentes en las zonas que se están evaluando...	49
III.	Proporciona un dato de las variantes con el tráfico y cuál es el margen de error que pudiera surgir en la aplicación.....	53
IV.	Proporciona una importancia relativa de la información y los resultados deseados.....	53
V.	Proporciona un valor máximo y mínimo de los datos ingresados .....	53
VI.	Datos de las variantes con el tráfico dado que la cantidad de variable el error en insignificante que pudiera surgir en la aplicación.....	54

VII.	Proporciona una importancia relativa de la información y los resultado deseados.....	55
VIII.	Proporciona un valor máximo y mínimo de los datos ingresados .....	55
IX.	Proporciona los valores que nos servirán para la toma de decisiones de los datos ingresados para dos variables .....	56
X.	Proporciona los valores que nos servirán para la toma de decisiones de los datos ingresados para múltiples variables .....	57





## GLOSARIO

<b>ASP</b>	<i>Active Ser Active Server Pages</i> = Activación de Páginas de Servicio.
<b>CRM</b>	<i>Customer Relationship Mangagement</i> = Gestión de relación con los clientes.
<b>ERP</b>	<i>Enterprise Enterprise Resource Planning</i> = Planificación de Recursos Empresariales.
<b>IaaS</b>	<i>Infrastructure as a Service</i> = Infraestructura como Servicio.
<b>IIS</b>	Internet Información de Servicios.
<b>PaaS</b>	<i>Platform as a Service</i> = Plataforma como servicio.
<b>Pyme</b>	Pequeña y mediana empresa.
<b>SaaS</b>	<i>Software as a Service</i> = Software como servicio.
<b>TIC</b>	Tecnología de información y comunicación.
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> = Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.



## **RESUMEN**

La tecnología de tránsito han tenido un crecimiento inmensurable, lo cual ha obligado a varios países a revisar sus procesos con el fin de automatizar la mayor parte de ellos y de ese modo obtener así en sus actividades un mejor desempeño.

Por eso la centralización e implementación de la tecnología de tránsito en la ciudad de Guatemala nos da un gran beneficio en cuestión de mejorar la tasa de flujo vehicular en la ciudad, automatizando y controlando desde un servidor, utilizando redes neuronales y teniendo personal calificado para que lo administre.

Lo cual puede favorecer en muchos aspectos tanto como en la toma de decisiones a las horas pico, cuánto tiempo sería el adecuado para que el semáforo diera vía. Esto se produce al evaluar constantemente y retroalimentando el sistema de redes neuronales obteniendo el más eficiente flujo vehicular posible.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Establecer si la factibilidad de implementar el sistema de semáforos inteligentes, usando redes neuronales, proporciona un beneficio en el tránsito vehicular en la ciudad de Guatemala.

### **Específicos**

1. Establecer los parámetros requeridos para generar soluciones óptimas con el modelo de redes neuronales. Para que se puedan empezar a trabajar con las posibles soluciones del tráfico.
2. Alcanzar de manera óptima la fluidez del tránsito vehicular con el conocimiento obtenido. Para que en las horas pico fluya el tránsito.
3. Obtener los resultados de manera confiable, para establecer un patrón de aprendizaje en el sistema. Para que sucedan percances en el momento de implementarlo.
4. Mejorar el funcionamiento de los semáforos actuales. Para que se evite congestionamiento cuando la densidad de vehículos aumente.
5. Consultar los puntos estratégicos donde se colocaran los semáforos en la ciudad de Guatemala. Para que se analice la factibilidad del mismo.



## INTRODUCCIÓN

Se hizo un análisis de factibilidad de la aplicación de inteligencia artificial en el tránsito en la ciudad de Guatemala usando redes neuronales, con base en los nuevos semáforos inteligentes recién instalados en lugares específicos para aumentar el fluidez de vehículos en la ciudad.

Se busca establecer si la implementación de un sistema inteligente para regular el tráfico en función de la densidad y de los horarios definidos por ejemplo en horas pico o en arterias conflictivas de la ciudad, que tienen comportamientos no estándar, es decir, se busca que el sistema pueda adaptar el comportamiento de cada semáforo para maximizar el flujo de vehículos y reducir el congestionamiento.

Las redes neuronales permiten establecer un comportamiento inteligente luego de un período de entrenamiento, durante el cual la red se adapta y establece sus parámetros de forma que el resultado en términos perceptibles es aceptable, dentro de los parámetros que se definan, por ejemplo, no se quiere que nuestro sistema de semáforos cree más tráfico del existente, o que cree tiempos de espera demasiado altos, también debe percibirse una mejora de parte de los ciudadanos.





# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Inteligencia Artificial (IA)

Es una disciplina [IEEE] que tiene que ver con las ciencias de la computación que corresponden al esfuerzo por parte de gran cantidad de científicos que durante los últimos treinta años han realizado con el fin de dotar a las computadoras de inteligencia, a partir de esta definición se encuentra que una de las técnicas de IA es aquella que se utiliza con el fin de lograr que un determinado programa se comporte de forma inteligente sin pretender tener en cuenta la forma de razonamiento empleada para lograr ese comportamiento.

Luego, aquí surge un dilema, ya que según esto cualquier problema resoluble por un computador, sin complicaciones y también como un ser humano podría encuadrarse en el campo de la inteligencia artificial acudiendo solamente a la aplicación de reglas consecutivas al pie de la letra o lo que se encuentra con el nombre de Algoritmos dentro del lenguaje de IA; este término fue acuñado en honor al matemático árabe *AL-KWARIZMI* que copiló una serie de estos para ser aplicados a diferentes problemas algebraicos.

Cuando se aplican algoritmos a la solución de los problemas aunque no se está actuando inteligentemente si está siendo eficaz pero los problemas realmente complicados a los que se enfrenta el ser humano son aquellos en los cuales no existe algoritmo conocido así que surgen de reglas que tratan de orientarnos hacia las soluciones llamadas *Heurísticas* [capacidad de un sistema para realizar de forma inmediata innovaciones positivas para sus fines] en las

cuales nunca nada nos garantiza que la aplicación de una de estas reglas nos acerque a la solución como ocurre con los anteriores.

A partir de estos datos; *Farid Fleifel Tapia* describe a la IA como: la rama de la ciencia de la computación que estudia la resolución de problemas no algorítmicos mediante el uso de cualquier técnica de computación disponible, sin tener en cuenta la forma de razonamiento subyacente a los métodos que se apliquen para lograr esa resolución.

Para completar esa definición, algunas definiciones no tan formales emitidas por diferentes investigadores de la IA que consideran otros puntos de vista son:

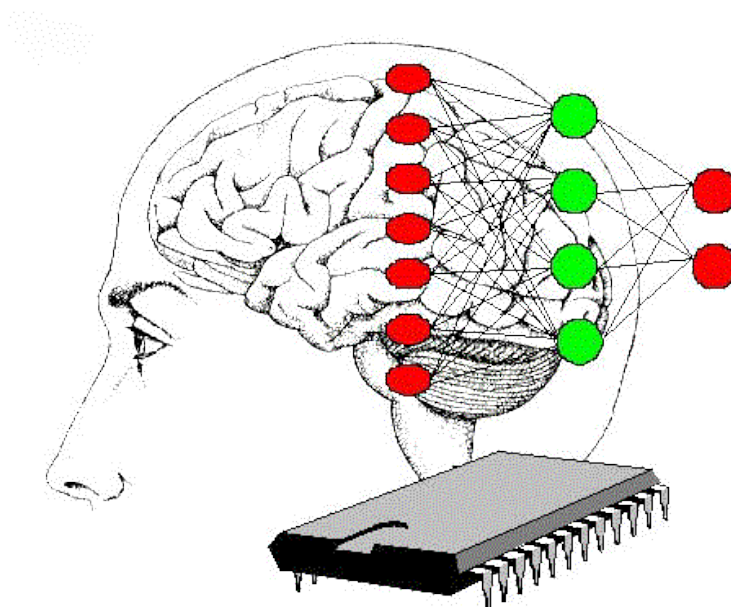
- La IA es el arte de crear máquinas con capacidad de realizar funciones que realizadas por personas requieren de inteligencia. (Kurzweil, 1990).
- La IA es el estudio de cómo lograr que las computadoras realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor. (Rich, Knight, 1991).
- La IA es el campo de estudio que se enfoca a la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales. (Schalkoff, 1990).
- La IA es la rama de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente. (Lugar y Stubblefield, 1993).

En la IA se puede observar dos enfoques diferentes:

- La IA concebida como el intento por desarrollar una tecnología capaz de proveer al ordenador capacidades de razonamiento similares a los de la inteligencia humana.
- La IA en su concepción como investigación relativa a los mecanismos de la inteligencia humana que se emplean en la simulación de validación de teorías.

Los estilos son una herramienta importante que se utilizó para facilitar el uso de la plantilla. A continuación se presenta una figura para poder habilitar los estilos.

Figura 1. **Acercamiento descendente y ascendente a la inteligencia**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos16/la-inteligencia-artificial/la-inteligencia-artificial.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

El primer enfoque se centra en la utilidad y no en el método como se veía anteriormente con los algoritmos, los temas claves de este enfoque son la representación y gestión de conocimiento, sus autores más representativos son McCarthy y Minsky.

En el segundo enfoque se encuentra que este se orienta a la creación de un sistema artificial capaz de realizar procesos cognitivos humanos haciendo importante ya no la utilidad como el método, los aspectos fundamentales de este enfoque se refieren al aprendizaje y adaptabilidad y sus autores son Newell y Simón de la Carnegie Mellon University.

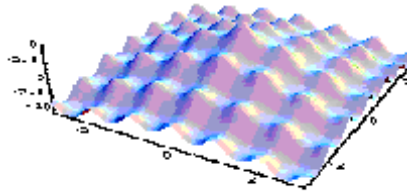
La IA al tratar de construir máquinas que se comporten aparentemente como seres humanos han dado lugar al surgimiento de dos bloques enfrentados: el enfoque simbólico o top-Down, conocido como la IA clásica y el enfoque subsimbólico llamado a veces conexionista.

Los simbólicos simulan directamente las características inteligentes que se pretenden conseguir o imitar y lo mejor que también se tiene a la mano es el hombre; para los constructores de los sistemas expertos resulta fundamental la representación del conocimiento humano donde gracias a estos avances se han encontrado dos tipos de conocimiento: conocimiento acerca del problema particular y conocimiento acerca de cómo obtener más conocimiento a partir del que ya tenemos. El ejemplo más representativo de esta corriente es el proyecto de Cyc de Douglas B. Lenat sobre un sistema que posee en su memoria millones de hechos interconectados.

Dentro de la otra corriente: la subsimbólica; sus esfuerzos se orientan a la simulación de los elementos de más bajo nivel dentro de los procesos inteligentes con la esperanza de que estos al combinarse permitan que

espontáneamente surja el comportamiento inteligente. Los ejemplos más claros que trabajan con este tipo de orientación son las redes neuronales y los algoritmos genéticos donde estos sistemas trabajan bajo la autonomía, el aprendizaje y la adaptación, conceptos fuertemente relacionados.

Figura 2. **Gráfica matemática que representa comportamiento de la inteligencia artificial**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos16/la-inteligencia-artificial/la-inteligencia-artificial.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

Uno de los grandes seguidores de la IA; Marvin Minsky, ha dado una clasificación para los lenguajes de programación que se utilizan en esta disciplina:

- Haga ahora: donde el programador surte de instrucciones a la máquina para realizar una tarea determinada donde todo queda especificado excepto quizás el número de repeticiones.
- Haga siempre que: aquí se permite escribir un programa que le sirva a la computadora para resolver aquellos problemas que el programador no sabe resolver pero conoce que tipo de soluciones se pueden intentar.

- De constreñimiento: se escriben programas que definen estructuras y estados que se condicionan y limitan recíprocamente.

Pero Minsky, admite que aún será necesario desarrollar dos tipos de lenguajes más para obtener una IA comparable a la inteligencia humana; y estos podrían ser.

- Haga algo que tenga sentido: donde se permite al programa aprender del pasado y en una nueva situación aplicar sus enseñanzas.
- Mejórense a sí mismo: allí se podrá permitir escribir programas que tengan en adelante la capacidad de escribir programas mejores que ellos mismos.

Otro punto desde luego tiene que ver con el tema que aquí se está tratando es por supuesto el concepto de lo que es creatividad, que a simple vista es algo que no se puede explicar porque es resultado de un don especial pero que los estudios sobre IA han comenzado hacer posible dar explicación satisfactoria: nos dicen que en la medida que se logre escribir programas que exhiban propiedad, en esa misma medida se empezara a explicar la creatividad.

Otra propiedad que se espera ver asociada a la IA es la autoconciencia; que de acuerdo con los resultados de las investigaciones psicológicas hablan por una parte de que como es bien sabido, el pensamiento humano realiza gran cantidad de funciones que no se pueden calificar de conscientes y que por lo tanto la autoconciencia contribuye en cierto sentido a impedir el proceso mental eficiente; pero por otro lado es de gran importancia poder tener conocimiento sobre nuestras propias capacidades y limitaciones siendo esto de gran ayuda

para el funcionamiento de la inteligencia tanto de la maquina como del ser humano.

Pero sería imposible tratar de contemplar el tema de la IA sin recurrir a la cuestión de la complejidad; donde el comportamiento inteligente es el resultado de la interacción de muchos elementos y que con seguridad es una de las más valiosas contribuciones al tratar de simular en la maquina los fenómenos intelectuales humanos.

## **1.2. Redes neuronales**

El hombre se ha caracterizado siempre por su búsqueda constante de nuevas vías para mejorar sus condiciones de vida. Estos esfuerzos le han servido para reducir el trabajo en aquellas operaciones en las que la fuerza juega un papel primordial. Los progresos obtenidos han permitido dirigir estos esfuerzos a otros campos, como por ejemplo, a la construcción de máquinas calculadoras que ayuden a resolver de forma automática y rápida determinadas operaciones que resultan tediosas cuando se realizan a mano.

Charles Babbage trató de construir una máquina capaz de resolver problemas matemáticos. Posteriormente otros tantos intentaron construir máquinas similares, pero no fue hasta la Segunda Guerra Mundial, cuando ya se disponía de instrumentos electrónicos, que se empezaron a recoger los primeros frutos. En 1946 se construyó la primera computadora electrónica, ENIAC. Desde entonces los desarrollos en este campo han tenido un auge espectacular.

Estas máquinas permiten implementar fácilmente algoritmos para resolver multitud de problemas que antes resultaban engorrosos de resolver.

Sin embargo, se observa una limitación importante: qué ocurre cuando el problema que se quiere resolver no admite un tratamiento algorítmico, como es el caso, por ejemplo, de la clasificación de objetos por rasgos comunes.

Este ejemplo demuestra que la construcción de nuevas máquinas más versátiles requiere un enfoque del problema desde otro punto de vista. Los desarrollos actuales de los científicos se dirigen al estudio de las capacidades humanas como una fuente de nuevas ideas para el diseño de las nuevas máquinas. Así, la inteligencia artificial es un intento por descubrir y describir aspectos de la inteligencia humana que pueden ser simulados mediante máquinas. Esta disciplina se ha desarrollado fuertemente en los últimos años teniendo aplicación en algunos campos como visión artificial, demostración de teoremas, procesamiento de información expresada mediante lenguajes humanos etc.

Las redes neuronales son más que otra forma de emular ciertas características propias de los humanos, como la capacidad de memorizar y de asociar hechos. Si se examinan con atención aquellos problemas que no pueden expresarse a través de un algoritmo, se observará que todos ellos tienen una característica en común: la experiencia. El hombre es capaz de resolver estas situaciones acudiendo a la experiencia acumulada. Así, parece claro que una forma de aproximarse al problema consista en la construcción de sistemas que sean capaces de reproducir esta característica humana.

En definitiva, las redes neuronales no son más que un modelo artificial y simplificado del cerebro humano, que es el ejemplo más perfecto del que se dispone para un sistema que sea capaz de adquirir conocimiento a través de la experiencia. Una red neuronal es un nuevo sistema para el tratamiento de la



información, cuya unidad básica de procesamiento está inspirada en la célula fundamental del sistema nervioso humano: la neurona.

Todos los procesos del cuerpo humano se relacionan en alguna u otra forma con la (in)actividad de estas neuronas. Las mismas son un componente relativamente simple del ser humano, pero cuando millares de ellas se conectan en forma conjunta se hacen muy poderosas.

Luego de hacer *click* aparecerá un cuadro en la parte derecha de su pantalla como se demuestra a continuación.

También, es bien conocido que los humanos son capaces de aprender. Aprendizaje significa que aquellos problemas que inicialmente no pueden resolverse, pueden ser resueltos después de obtener más información acerca del problema.

- Por lo tanto, las Redes Neuronales
  - Consisten de unidades de procesamiento que intercambian datos o información.
  - Se utilizan para reconocer patrones, incluyendo imágenes, manuscritos y secuencias de tiempo, tendencias financieras.
  - Tienen capacidad de aprender y mejorar su funcionamiento.
- Una primera clasificación de los modelos de redes neuronales podría ser, atendiendo a su similitud con la realidad biológica

- El modelo de tipo biológico. Este comprende las redes que tratan de simular los sistemas neuronales biológicos, así como las funciones auditivas o algunas funciones básicas de la visión.
- El modelo dirigido a aplicación. Este modelo no tiene por qué guardar similitud con los sistemas biológicos. Su arquitectura está fuertemente ligada a las necesidades de las aplicaciones para la que es diseñada.

### **1.2.1. Ventajas que ofrecen las redes neuronales**

Debido a su constitución y a sus fundamentos, las redes neuronales artificiales presentan un gran número de características semejantes a las del cerebro. Por ejemplo, son capaces de aprender de la experiencia, de generalizar de casos anteriores a nuevos casos, de abstraer características esenciales a partir de entradas que representan información irrelevante, etc. Esto hace que ofrezcan numerosas ventajas y que este tipo de tecnología se esté aplicando en múltiples áreas. Entre las ventajas se incluyen:

- Aprendizaje adaptativo: capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento o en una experiencia inicial.
- Auto-organización: una red neuronal puede crear su propia organización o representación de la información que recibe mediante una etapa de aprendizaje.
- Tolerancia a fallos: la destrucción parcial de una red conduce a una degradación de su estructura; sin embargo, algunas capacidades de la red se pueden retener, incluso sufriendo un gran daño.

- Operación en tiempo real: los cálculos neuronales pueden ser realizados en paralelo; para esto se diseñan y fabrican máquinas con hardware especial para obtener esta capacidad.
- Fácil inserción dentro de la tecnología existente: se pueden obtener chips especializados para redes neuronales que mejoran su capacidad en ciertas tareas. Ello facilitará la integración modular en los sistemas existentes.

### **1.2.2. Fundamentos de las redes neuronales**

El modelo Biológico se estima que el cerebro humano contiene más de cien mil millones de neuronas estudios sobre la anatomía del cerebro humano concluyen que hay más de 1000 sinapsis a la entrada y a la salida de cada neurona.

Es importante notar que aunque el tiempo de conmutación de la neurona (unos pocos milisegundos) es casi un millón de veces menor que en los actuales elementos de las computadoras, ellas tienen una conectividad miles de veces superior que las actuales supercomputadoras.

Las neuronas y las conexiones entre ellas (sinapsis) constituyen la clave para el procesamiento de la información.

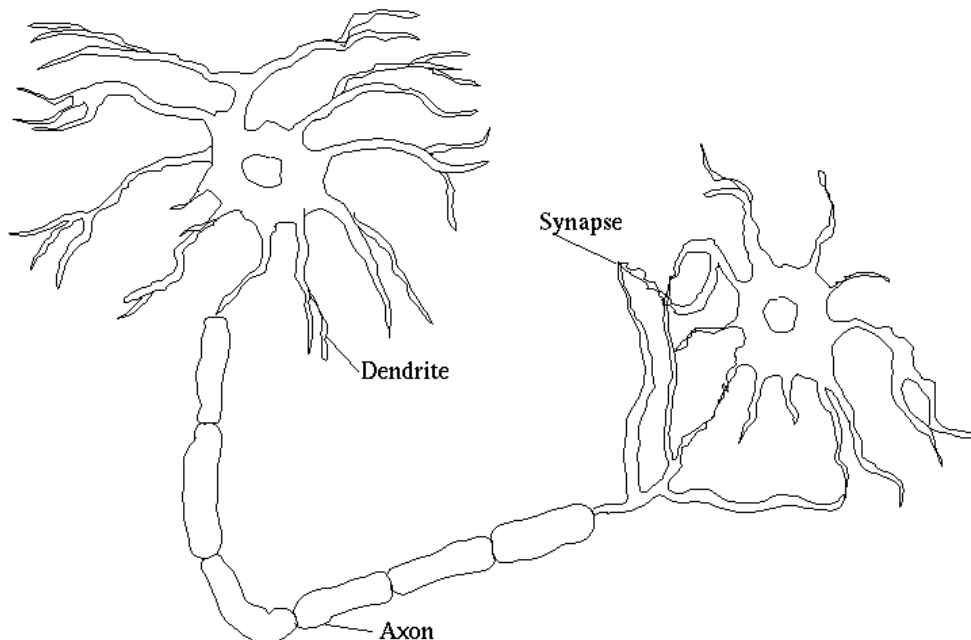
Algunos elementos ha destacar de su estructura histológica son:

- Las dendritas, que son la vía de entrada de las señales que se combinan en el cuerpo de la neurona. De alguna manera la neurona elabora una señal de salida a partir de ellas.

- El axón, que es el camino de salida de la señal generada por la neurona.
- Las sinapsis, que son las unidades funcionales y estructurales elementales que median entre las interacciones de las neuronas.

En las terminaciones de las sinapsis se encuentran unas vesículas que contienen unas sustancias químicas llamadas neurotransmisores, que ayudan a la propagación de las señales electroquímicas de una neurona a otra.

Figura 3. **Estructura de una neurona biológica típica**



Fuente: <http://redesneuronales.atwebpages.com/6.htm>. Consultado: 15 de julio de 2013.

Lo que básicamente ocurre en una neurona biológica es lo siguiente: la neurona es estimulada o excitada a través de sus entradas (inputs) y cuando se

alcanza un cierto umbral, la neurona se dispara o activa, pasando una señal hacia el *axón*.

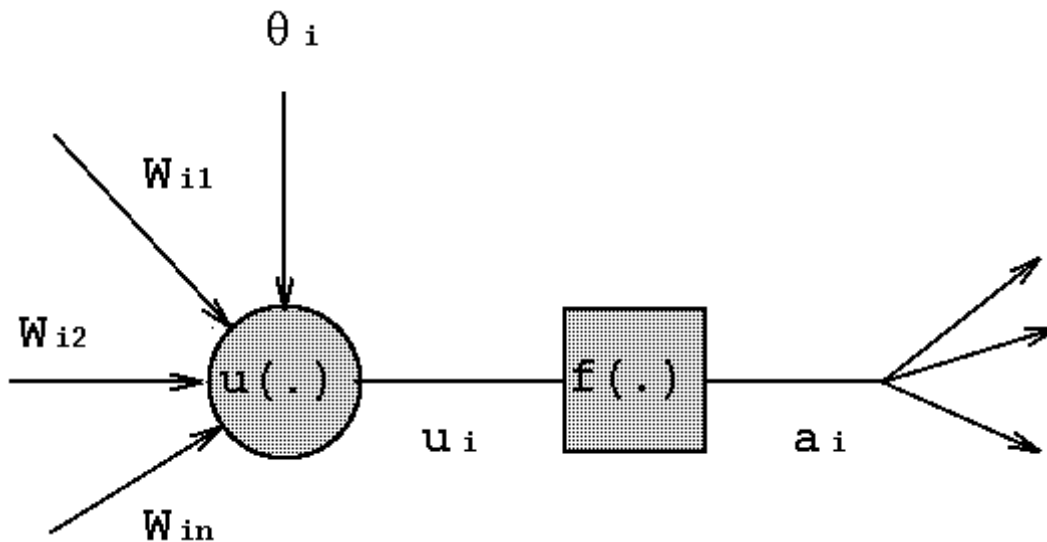
Posteriores investigaciones condujeron al descubrimiento de que estos procesos son el resultado de eventos electroquímicos. Como ya se sabe, el pensamiento tiene lugar en el cerebro, que consta de billones de neuronas interconectadas. Así, el secreto de la inteligencia -sin importar como se defina- se sitúa dentro de estas neuronas interconectadas y de su interacción.

La forma que dos neuronas interactúan no está totalmente conocida, dependiendo además de cada neurona. En general, una neurona envía su salida a otras por su axón. El axón lleva la información por medio de diferencias de potencial, u ondas de corriente, que depende del potencial de la neurona.

Este proceso es a menudo modelado como una regla de propagación representada por la función de red  $u(.)$ . La neurona recoge las señales por su sinapsis sumando todas las influencias excitadoras e inhibitoras. Si las influencias excitadoras positivas dominan, entonces la neurona da una señal positiva y manda este mensaje a otras neuronas por sus sinapsis de salida.

En este sentido la neurona puede ser modelada como una simple función escalón  $f(.)$ . Como se muestra en la próxima figura, la neurona se activa si la fuerza combinada de la señal de entrada es superior a un cierto nivel, en el caso general el valor de activación de la neurona viene dado por una función de activación  $f(.)$ .

Figura 4. **Rumelhart modelo genérico de neurona artificial**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

### 1.2.3. **Elementos de una red neuronal artificial**

Las redes neuronales son modelos que intentan reproducir el comportamiento del cerebro. Los mismos constan de dispositivos elementales de proceso: las neuronas. A partir de ellas, se pueden generar representaciones específicas, de tal forma que un estado conjunto de ellas puede significar una letra, un número u otro objeto.

Generalmente se pueden encontrar tres tipos de neuronas:

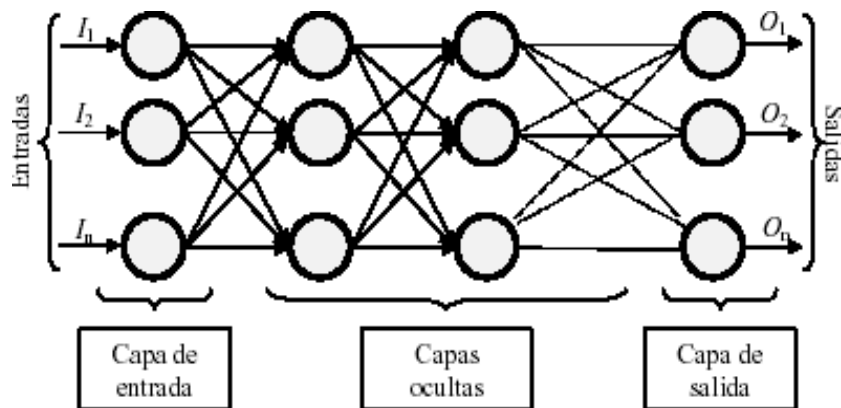
Aquellas que reciben estímulos externos relacionados con el aparato sensorial, que tomarán la información de entrada.

Dicha información se transmite a ciertos elementos internos que se ocupan de su procesamiento. Es en las sinapsis y neuronas correspondientes a este segundo nivel donde se genera cualquier tipo de representación interna de información. Como no tienen relación directa con la información de entrada ni con la salida, estos elementos se denominan unidades ocultas.

Una vez finalizado el período de procesado, la información llega a las unidades de salida, cuya misión es dar la respuesta al sistema.

A continuación se puede ver en la siguiente figura, un esquema de una red neuronal:

Figura 5. **Arquitectura unidireccional de tres capas, de entrada oculta y de salida**



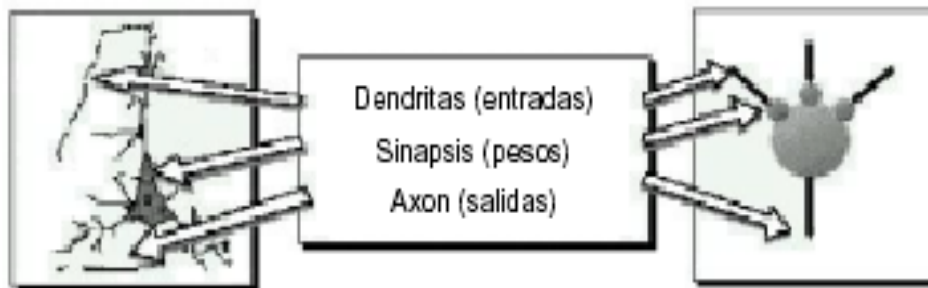
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

La misma está constituida por neuronas interconectadas y arregladas en tres capas (esto último puede variar). Los datos ingresan por medio de la capa

de entrada, pasan a través de la capa oculta y salen por la capa de salida. Cabe mencionar que la capa oculta puede estar constituida por varias capas.

En la siguiente figura se compara una neurona biológica con una neurona artificial. En la misma se pueden observar las similitudes entre ambas (tienen entradas, utilizan pesos y generan salidas).

Figura 6. **Comparaciones de neurona biológica y neurona artificial**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

La neurona artificial pretende mimetizar las características más importantes de las neuronas biológicas.

Cada neurona  $i$ -ésima está caracterizada en cualquier instante por un valor numérico denominado valor o estado de activación  $a_i(t)$ ; asociado a cada unidad, existe una función de salida,  $f_i$ , que transforma el estado actual de activación en una señal de salida. Dicha señal es enviada a través de los canales de comunicación unidireccionales a otras unidades de la red; estos canales la señal se modifica de acuerdo con la sinapsis (el peso,  $w_{ji}$ ) asociada a

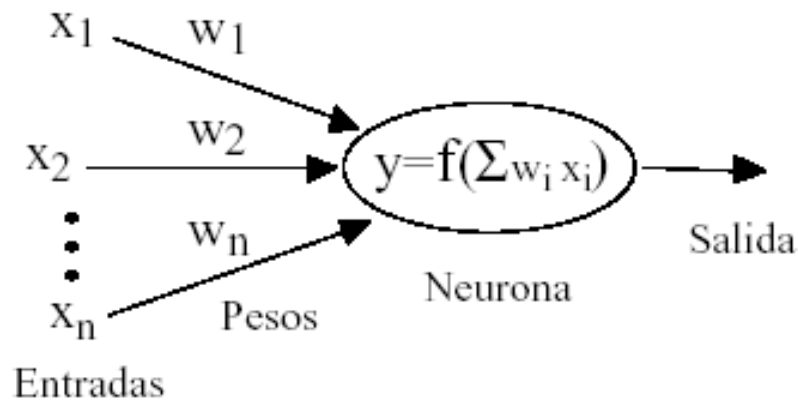


cada uno de ellos según determinada regla. Las señales moduladas que han llegado a la unidad j-ésima se combinan entre ellas, generando así la entrada total  $Net_j$ .

$$Net_j = \sum_i y_i w_{ji}$$

Una función de activación, F, determina el nuevo estado de activación  $a_j(t+1)$  de la neurona, teniendo en cuenta la entrada total calculada y el anterior estado de activación  $a_j(t)$ .

Figura 7. **Modelo de neurona estándar**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

La dinámica que rige la actualización de los estados de las unidades puede ser de dos tipos: asíncrono y modo síncrono.

En el primer caso, las neuronas evalúan su estado continuamente según les va llegando información, y lo hacen de forma independiente. En el segundo

caso, la información llega de forma continua, pero los cambios se realizan simultáneamente, como si existiera un reloj interno que decidiera cuando cambiar su estado. Los sistemas biológicos quedan probablemente entre ambas posibilidades.

#### **1.2.4. Unidad de procesos: la neurona artificial**

Si se tienen  $N$  unidades (neuronas), se pueden ordenar arbitrariamente y designar la  $j$ -ésima unidad como  $U_j$ . Su trabajo es simple y único, y consiste en recibir las entradas de las células vecinas y calcular un valor de salida, el cual es enviado a todas las células restantes.

En cualquier sistema que se esté modelando, es útil caracterizar tres tipos de unidades: entradas, salidas y ocultas. Las unidades de entrada reciben señales del entorno, éstas pueden ser provenientes de sensores o de otros sectores del sistema. Las unidades de salida envían la señal fuera del sistema; éstas pueden controlar directamente potencias u otros sistemas. Las unidades ocultas son aquellas cuyas entradas y salidas se encuentran dentro del sistema; es decir no tienen contacto con el exterior.

Se conoce como nivel o capa a un conjunto de neuronas cuyas entradas provienen de la misma fuente, y cuyas salidas se dirigen a un mismo destino.

- Estado de Activación

Junto al conjunto de unidades, la representación necesita los estados del sistema en un tiempo  $t$ . Esto se especifica en un vector de  $N$  números reales  $A(t)$ , que representa el estado de activación del conjunto de unidades de procesamiento. Cada elemento del vector representa la activación de una

unidad en el tiempo  $t$ . La activación de una unidad  $U_i$  en el tiempo  $t$  se designa por  $a_i(t)$ ; es decir:

$$A(t) = (a_1(t), \dots, a_i(t), \dots, a_N(t))$$

El procesamiento que realiza la red se ve como la evolución de un patrón de activación en el conjunto de unidades que lo componen a través del tiempo.

Todas las neuronas que componen la red se hallan en cierto estado. Se pueden decir que hay dos posibles estados, reposo y excitado, a los que denominaremos estados de activación y a cada uno de los cuales se le asigna un valor. Los valores de activación pueden ser continuos o discretos. Además pueden ser limitados o ilimitados. Si son discretos, suelen tomar un conjunto pequeño de valores o bien valores binarios.

En notación binaria, un estado activo se indicaría por un 1, y se caracteriza por la emisión de un impulso por parte de la neurona (potencial de acción), mientras que un estado pasivo se indicaría por un 0. En otros modelos se considera un conjunto continuo de estados de activación, en cuyo caso se asigna un valor entre  $[0,1]$  o en el intervalo  $[-1,1]$ , generalmente siguiendo una función sigmoideal.

Los criterios o reglas que siguen las neuronas para alcanzar tales estados dependen de dos factores:

Dado que las propiedades macroscópicas de las redes neuronales no son producto de actuación de elementos individuales, es necesario tener idea del mecanismo de interacción entre las neuronas. El estado de activación

estará fuertemente influenciado por tales interacciones ya que el efecto que producirá una neurona sobre otra será proporcional a la fuerza, peso de la conexión entre ambas.

La señal que envía cada una de las neuronas a sus vecinas dependerá de su propio estado de activación.

### 1.2.5. Función de salida o transferencia

Asociada a cada unidad  $U_i$  (neurona) hay una función de salida  $f_i(a_i(t))$ , que transforma el estado actual de activación en una señal de salida:  $y_i(t) = f_i(a_i(t))$ .

En algunos modelos, esta salida es igual al nivel de activación de la unidad, en cuyo caso la función  $f_i$  es la función identidad,  $f_i(a_i(t)) = a_i(t)$ . A menudo,  $f_i$  es de tipo sigmoïdal, y suele ser la misma para todas las unidades.

Existen cuatro funciones de transferencia típicas que determinan distintos tipos de neuronas:

- Función escalón
- Función lineal y mixta
- Sigmoïdal
- Función gaussiana

La función escalón únicamente se utiliza cuando las salidas de la red son binarias. La salida de una neurona se activa sólo cuando el estado de activación es mayor o igual a cierto valor umbral. La función lineal o identidad

equivale a no aplicar función de salida. La función mixta y sigmoideal son las más apropiadas cuando se quiere una salida de información analógica.

- Neuronas de función escalón: la función escalón se asocia a neuronas binarias en las cuales cuando la suma de las entradas es mayor o igual que el umbral de la neurona, la activación es 1, si es menor, la activación es 0 (ó -1). Las redes formadas por este tipo de neuronas son fáciles de implementar en hardware, pero sus capacidades están limitadas.
- Neuronas de función lineal o mixta: la función lineal o mixta corresponde a la función  $F(x) = x$ . En las neuronas con función mixta si la suma de las señales de entrada es menor que un límite inferior, la activación se define como 0 (ó -1). Si dicha suma es mayor o igual que el límite superior, entonces la activación es 1. Si la suma de entrada está comprendida entre ambos límites, la activación se define como una función lineal de suma de las señales de entrada.
- Neuronas de función continua (sigmoideal): cualquier función definida simplemente en un intervalo de posibles valores de entrada, con un incremento monótonico y que tengan ambos límites superiores e inferiores (por ejemplo las funciones sigmoideal y arco tangente), podrá realizar la función de activación o transferencia de forma satisfactoria.

Con la función sigmoideal, para la mayoría de los valores del estímulo de entrada, el valor dado por la función es cercano a uno de los valores asintóticos.

Esto hace posible que en la mayoría de los casos, el valor de salida esté comprendido en la zona alta o baja del sigmoide. De hecho cuando la pendiente es elevada, esta función tiende a la función escalón. La importancia de ésta

función es que su derivada es siempre positiva y cercana a cero para los valores grandes positivos o negativos; además toma su valor máximo cuando  $x$  es cero.

Esto hace que se puedan utilizar las reglas de aprendizaje definidas para la función escalón, con la ventaja respecto a esta función, que la derivada está definida para todo el intervalo. La función escalón no podía definir la derivada en el punto de transición y esto no ayuda a los métodos de aprendizaje en los cuales se usan derivadas.

- Función de transferencia gaussiana: los centros y anchura de estas funciones pueden ser adaptados, lo cual las hace más adaptativas que las funciones sigmoideas.

### **1.2.6. Conexiones entre neuronas**

Las conexiones que unen las neuronas que forman una RNA tienen asociado un peso que es el que hace que la red adquiera conocimiento.

Se considera  $y_i$  como el valor de salida de una neurona  $i$  en un instante dado. Una neurona recibe un conjunto de señales que le dan información del estado de activación de todas las neuronas con las que se encuentra conectada.

Cada conexión (sinápsis) entre la neurona  $i$  y la  $j$  está ponderada por un peso  $w_{ji}$ . Normalmente, como simplificación, se considera que el efecto de cada señal es aditivo, de tal forma que la entrada neta que recibe una neurona  $net_j$ ,

es la suma de cada señal individual por el valor de la sinapsis que conecta ambas neuronas:

$$net_j = \sum_i^N w_{ji} * y_i$$

Esta regla muestra el procedimiento a seguir para combinar los valores de entrada a una unidad con los pesos de las conexiones que llegan a esa unidad y es conocida como regla de propagación.

- Función o regla de activación: así como es necesaria una regla que combine las entradas de una neurona con los pesos de las conexiones, también se requiere una regla que combine las entradas con el estado actual de la neurona para producir un nuevo estado de activación. Esta función F produce un nuevo estado de activación en una neurona a partir del estado ( $a_i$ ) que existía y la combinación de las entradas con los pesos de las conexiones ( $net_i$ ).

Dado el estado de activación  $a_i(t)$  de la unidad  $U_i$  y la entrada total que llega,  $Net_i$ , el estado de activación siguiente,  $a_i(t+1)$ , se obtiene aplicando una función F, llamada función de activación.

$$a_i(t+1) = F(a_i(t), Net_i)$$

En la mayoría de los casos la función F es la función identidad, por lo que el estado de activación de la neurona en t+1 coincidirá con el Net de la misma t. En este caso, el parámetro que se le pasa a la función de salida  $f$ ,

de la neurona será directamente el Net. Es estado de activación anterior no se tiene en cuenta. Según esto, la salida de una neurona  $i(y_i)$  quedará según la expresión:

$$y_i(t+1) = f(Net_i) = f\left(\sum_{j=1}^N w_{ji} y_j(t)\right)$$

Por tanto, y en lo sucesivo, se considera únicamente la función  $f$ , que se denomina transferencia o de activación. Además, la misma no está centrada en el origen del eje que representa el valor de entrada neta sino que existe cierto desplazamiento debido a las características internas de la neurona y que no es igual en todas ellas. Este valor se denota como  $\theta_i$  y representa el umbral de activación de la neurona  $i$ .

$$y_i(t+1) = f(Net_i - \theta_i) = f\left(\sum_{j=1}^N w_{ji} y_j(t) - \theta_i\right)$$

La salida se obtiene en una neurona para las diferentes forma de la función  $f$  serán:

- Función de activación escalón: si el conjunto de los estados de activación es  $E = \{0,1\}$ , se tendrá que:

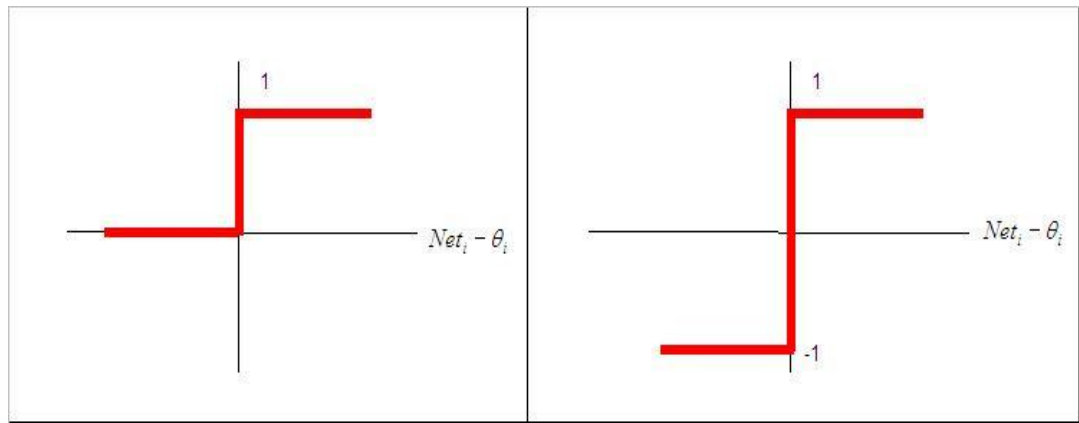
$$y_i(t+1) = \begin{cases} 1 & \text{si } [Net_i > \theta_i] \\ y(t) & \text{si } [Net_i = \theta_i] \\ 0 & \text{si } [Net_i < \theta_i] \end{cases}$$

Si el conjunto es  $E = \{-1,1\}$ , se tendrá que:



$$y_i(t+1) = \begin{cases} 1 & \text{si } [Net_i > \theta_i] \\ y(t) & \text{si } [Net_i = \theta_i] \\ -1 & \text{si } [Net_i < \theta_i] \end{cases}$$

Figura 8. **Gráfica de función de activación escalón**

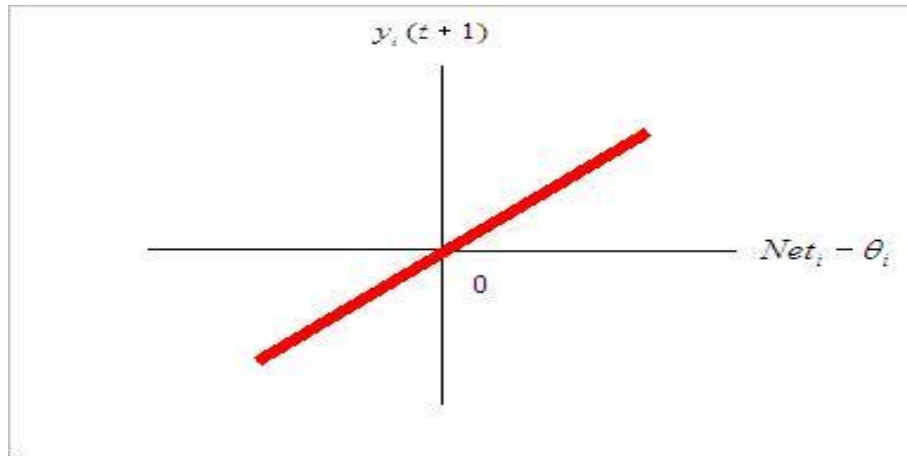


Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

- Función de activación lineal o identidad: el conjunto de estados E puede contener cualquier número real; el estado de activación coincide con la entrada total que ha llegado a la unidad.

$$y_i(t+1) = Net_i - \theta_i$$

Figura 9. **Gráfica de función de activación escalón**

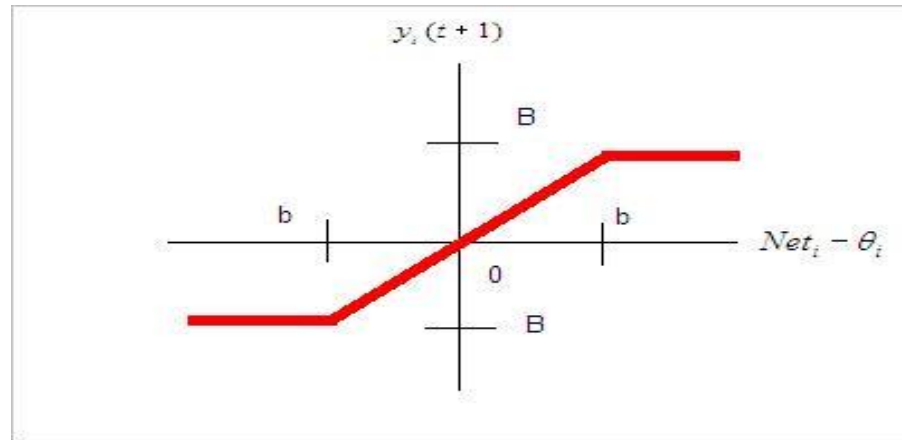


Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

- Función de activación lineal-mixta: con esta función, el estado de activación de la unidad está obligado a permanecer dentro de un intervalo de valores reales prefijados.

$$y_i(t+1) = \begin{cases} b & \text{si } [Net_i \leq b + \theta_i] \\ Net_i - \theta_i & \text{si } b + \theta_i < Net_i < B + \theta_i \\ B & \text{si } [Net_i \geq B] \end{cases}$$

Figura 10. **Gráfica de función de activación lineal - mixta**

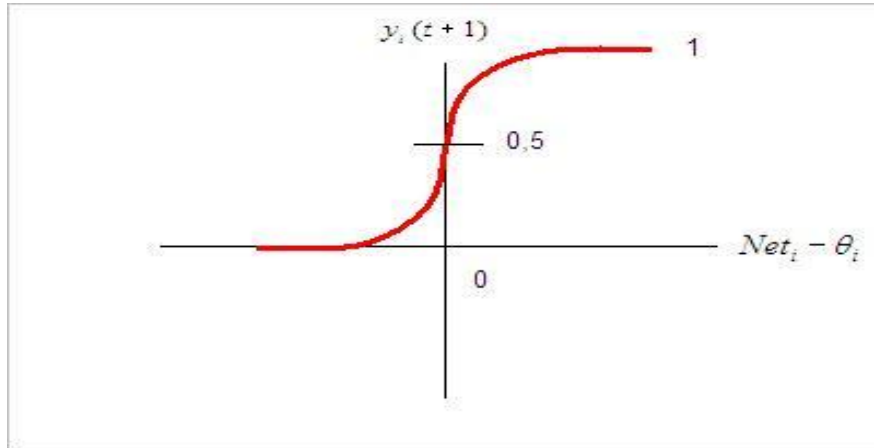


Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

- Función de activación sigmoideal: es una función continua, por tanto el espacio de los estados de activación es un intervalo del eje real.

$$y_i(t+1) = \frac{1}{(1 + e^{-(Net_i - \theta_i)})}$$

Figura 11. **Gráfica de función de activación sigmoidea**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

Para simplificar la expresión de la salida de una neurona  $i$ , es habitual considerar la existencia de una neurona ficticia, con valor de salida unidad, asociada a la entrada de cada neurona  $i$  mediante una conexión con peso de valor  $-\theta_i$ . De esta forma la expresión de salida quedará:

$$y_i(t+1) = f\left(\sum_{j=1}^N w_{ji}y_j(t) - \theta_i * 1\right) = f\left(\sum_{j=1}^N w_{ji}y_j(t)\right) = f(Net_i)$$

### 1.2.7. **Regla de aprendizaje**

Existen muchas definiciones del concepto aprendizaje, una de ellas podría ser: la modificación del comportamiento inducido por la interacción con el entorno y como resultado de experiencias conducente al establecimiento de nuevos modelos de respuesta a estímulos externos.

Biológicamente, se suele aceptar que la información memorizada en el cerebro está más relacionada con los valores sinápticos de las conexiones entre las neuronas que con ellas mismas. En el caso de las RNA, se puede considerar que el conocimiento se encuentra representado en los pesos de las conexiones entre neuronas. Todo proceso de aprendizaje implica cierto número de cambios en estas conexiones. Puede decirse que se aprende modificando los valores de los pesos de la red.

- Estructura de una Red Neuronal Artificial

#### Niveles o capas de neuronas

La distribución de neuronas dentro de la red se realiza formando niveles o capas de un número determinado cada una. Se pueden distinguir tres tipos de capas:

- De entrada: es la capa que recibe directamente la información proveniente de las fuentes externas de la red.
- Ocultas: son internas a la red, no tiene contacto directo con el exterior. El número de niveles ocultos puede ser de cero a un número elevado. Las neuronas de las capas ocultas pueden estar interconectadas de distintas maneras, lo que determina junto a su número, las distintas topologías.
- De salida: transfieren información de la red hacia el exterior. Se dice que una red es *totalmente conectada* si todas las salidas desde un nivel llegan a todos y cada uno de los nodos del mismo nivel siguiente.

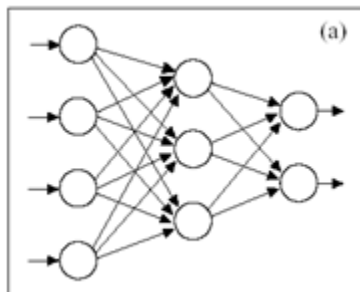
- Formas de conexión entre neuronas

La conectividad entre los nodos de una red neuronal está relacionada con la forma en que las salidas de las neuronas están canalizadas para convertirse en entradas de otras neuronas. La señal de salida de un nodo puede ser una entrada de otro elemento de proceso, o incluso de sí mismo (conexión auto-recurrente).

Cuando ninguna salida de las neuronas es entrada de neuronas del mismo nivel o de niveles precedentes, la red se describe como propagación hacia delante. Cuando las salidas pueden estar conectadas como entradas de neuronas de niveles previos o del mismo nivel, incluyéndose ellas mismas, la red es de propagación hacia atrás. Las redes de propagación hacia atrás que tiene lazos cerrados son sistemas recurrentes.

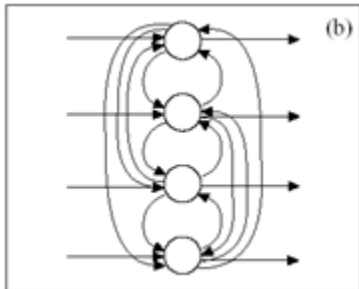
En la siguiente figura se muestran ejemplos de conexiones.

Figura 12. **Ejemplos de conexiones**

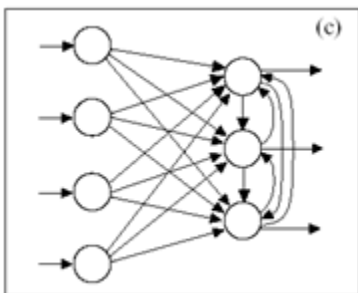


a) Conexiones hacia delante.

Continuación de la figura12.



b) Conexiones laterales.



c) Conexiones hacia atrás (o recurrentes).

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado:  
15 de julio de 2013.

### 1.3. Modelos matemático

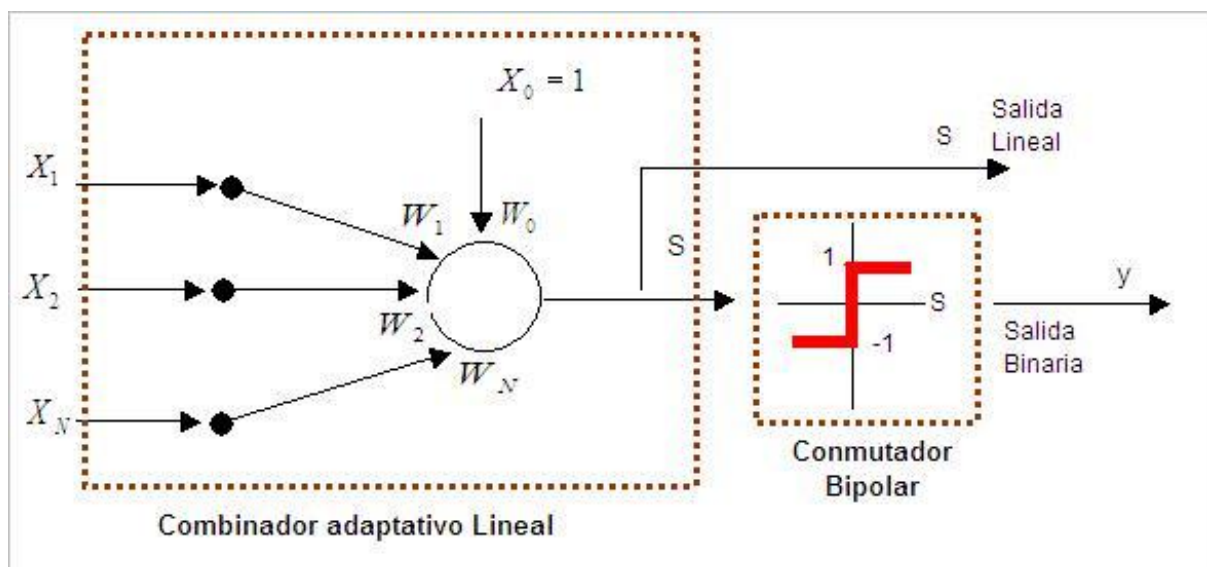
Las redes ADALINE (Adaptative Linear Element), fueron desarrolladas por Bernie Widrow en la Universidad de Stanford. Dicha red usa neuronas con función de transferencia escalón, y está limitada a una única neurona de salida.

Utiliza la denominada regla Delta de Widrow-Hoff o regla del mínimo error cuadrado medio (LMS), basada en la búsqueda del mínimo de una expresión del error entre la salida deseada y la salida lineal obtenida antes de

aplicarle la función de activación escalón. Estas redes pueden procesar información analógica, tanto de entrada como de salida, utilizando una función de activación lineal o sigmoideal.

En cuanto a su estructura, está formada por un elemento denominado combinador adaptativo lineal (ALC) que obtiene una salida lineal(s) que pueda ser aplicada a otro elemento de conmutación bipolar, de forma que si la salida del ALC es positiva, la salida de la red ADALINE es +1; si la salida es negativa, entonces la salida de la red ADALINE es -1.

Figura 13. **Red ADALINE, compuesta por un combinador adaptativo lineal y una función de salida**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>. Consultado: 15 de julio de 2013.

El ALC realiza el cálculo de la suma ponderada de las entradas:



$$S = w_0 + \sum_{j=1}^N w_j x_j$$

El umbral de la función de transferencia se representa a través de una conexión ficticia de peso  $w_0$ . Si tenemos en cuenta que para esta entrada se toma el valor de  $x_0 = 1$ , se puede escribir la anterior ecuación de la forma:

$$S = \sum_{j=1}^N w_j x_j = X \cdot W^T$$

Esta es la salida lineal que genera el ALC. La salida binaria correspondiente de la red ADALINE es, por tanto:

$$y(t+1) = \begin{cases} +1 & s > 0 \\ y(t) & s = 0 \\ -1 & s < 0 \end{cases}$$

La red ADALINE se puede utilizar para generar una salida analógica utilizando un conmutador sigmoideal, en lugar de binario; en tal caso, la salida  $y$  se obtendrá aplicando una función tipo sigmoideal, como la tangente hiperbólica ( $\tanh(s)$ ) o la exponencial ( $1/1+e^{-s}$ ).

### 1.3.1. Regla de aprendizaje

La red ADALINE utiliza un aprendizaje OFF LINE con supervisión denominado LMS (Least Mean Squared) o regla del mínimo cuadrado medio. También se conoce como regla Delta, porque trata de minimizar una Delta o diferencia entre el valor observado y el deseado en la salida de la red. La salida considerada, es el valor previo a la aplicación de la función de activación de la neurona.

La regla aprendizaje de mínimos cuadrados es un método para hallar el vector de pesos  $W$  deseado, el cual deberá ser único y asociar con éxito cada vector del conjunto de vectores o patrones de entrada  $\{X^1, X^2, X^3, \dots, X^L\}$  con su correspondiente valor de salida correcto (o deseado)  $d_k$ ,  $k=1, \dots, L$ .

El problema de hallar un conjunto de pesos  $W$  que para un único vector de entrada  $X$  dé lugar a un vector de salida correcto resulta sencillo, lo que no ocurre cuando se dispone de un conjunto de vectores de entrada, cada uno con su propio valor de salida asociado. El entrenamiento de la red consiste en adaptar los pesos a medida que se vayan presentando los patrones de entrenamiento y salidas deseadas para cada uno de ellos. Para cada combinación entrada-salida se realiza un proceso automático de pequeños ajustes en los valores de los pesos hasta que se obtienen las salidas correctas.

La primera cuestión a resolver es definir qué significa obtener el mejor vector de pesos obtenido a partir de unas parejas de valores ejemplo  $(X^i, d^i)$  de forma que, una vez encontrado, se desea que al aplicar todos los vectores de entrada se obtenga como resultado el valor de salida correcto. Se trata de eliminar, o por lo menos, minimizar la diferencia entre la salida deseada y la real para todos los vectores de entrada.

La regla de aprendizaje LMS minimiza el error cuadrado medio, definido como:

$$\langle \varepsilon_k^2 \rangle = \frac{1}{2L} \sum_{k=1}^L \varepsilon_k^2$$

Donde  $L$  es el número de vectores de entrada (patrones) que forman el conjunto de entrenamiento, y  $\varepsilon_k$  la diferencia entre la salida deseada y la obtenida cuando se introduce el patrón  $k$ -ésimo, que, se expresa como  $\varepsilon_k = (d_k - s_k)$ , siendo  $s_k$  la salida del ALC; es decir:

$$s_k = X_k \cdot W^T = \sum_{j=0}^N w_j x_{k_j}$$

La función de error es una función matemática definida en el espacio de pesos multidimensional para un conjunto de patrones dados. Es una superficie que tendrá muchos mínimos (globales y locales), y la regla de aprendizaje va a buscar el punto en el espacio de pesos donde se encuentra el mínimo global de esta superficie.

Aunque la superficie de error es desconocida, el método de gradiente decreciente consigue obtener información local de dicha superficie a través del gradiente. Con esta información se decide qué dirección tomar para llegar hasta el mínimo global de dicha superficie.

Basándose en el método del gradiente decreciente, se obtiene una regla para modificar los pesos de tal manera que se halla un nuevo punto en el espacio de pesos más próximo al punto mínimo. Es decir, las modificaciones en los pesos son proporcionales al gradiente decreciente de la función error  $\Delta w_j = -\alpha(\partial \varepsilon_k / \partial w_j)$ . Por tanto, se deriva la función error con respecto a los pesos para ver cómo varía el error con el cambio de pesos.

Se aplica la regla de la cadena para el cálculo de dicha derivada:

$$\Delta w_i = -\alpha \frac{\partial \langle \varepsilon_k^2 \rangle}{\partial w_i} = -\alpha \frac{\partial \langle e_k^2 \rangle}{\partial s_k} \cdot \frac{\partial s_k}{\partial w_i}$$

Se calcula la primera derivada:

$$\frac{\partial \langle e_k^2 \rangle}{\partial s_k} = \frac{\partial \left[ \frac{1}{2} (d_k - s_k)^2 \right]}{\partial s_k} = \frac{1}{2} (2(d_k - s_k)(-1)) = -(d_k - s_k) = -\varepsilon_k$$

Por tanto, queda:

$$\frac{\partial \langle \varepsilon_k^2 \rangle}{\partial s_k} = -\varepsilon_k$$

Teniendo en cuenta que  $s_k$  es la salida lineal:

$$s_k = \sum_{j=0}^N w_j x_{k_j}$$

Se calcula la segunda derivada de la expresión de  $\Delta w_i$ :

$$\frac{\partial s_k}{\partial w_i} = \frac{\partial \left( \sum_{j=0}^N (w_j x_{k_j}) \right)}{\partial w_i} = \frac{\partial (w_i x_{k_i})}{\partial w_i} = x_{k_i}$$

Así pues, el valor del gradiente el error producido por un patrón dado (k)

es:

$$\frac{\partial \langle \varepsilon_k^2 \rangle}{\partial w_i} = -\varepsilon_k x_{k_i}$$

Las modificaciones en los pesos son proporcionales al gradiente descendente de la función error:

$$\Delta w_i = -\alpha(-\varepsilon_k x_{k_i}) = \alpha(\varepsilon_k x_{k_i}) = \alpha(d_k - s_k)x_{k_i}$$

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha(d_k - s_k)x_{k_i}$$

Siendo  $\alpha$  la constante de proporcionalidad o tasa de aprendizaje.

En notación matricial, quedaría:

$$W(t+1) = W(t) + \alpha \varepsilon_k X_k = W(t) + \alpha(d_k - s_k)X_k$$

Esta expresión representa la modificación de pesos obtenida al aplicar el algoritmo LMS.  $\alpha$  Es el parámetro que determina la estabilidad y la velocidad de convergencia del vector de pesos hacia el valor de error mínimo. Los cambios en dicho vector deben hacerse relativamente pequeños en cada iteración, sino podría ocurrir que no se encontrase nunca un mínimo, o se encontrase sólo por accidente, en lugar de ser el resultado de una convergencia sostenida hacia él.

La aplicación el proceso iterativo de aprendizaje consta de los siguientes pasos:

Se aplica un vector o patrón de entrada,  $X_k$ , en las entradas del ADALINE.

Se obtiene la salida lineal  $S_k = X_k W^T = \sum_{j=0}^N w_j x_{k_j}$  y se calcula la

diferencia con respecto a la deseada  $\varepsilon_k = (x_k - s_k)$ .

Se actualizan los pesos

$$W(t+1) = W(t) + \alpha \varepsilon_k X_k$$

$$w(t+1) = w_j(t) + \alpha \varepsilon_k x_{k_j}.$$

Se repiten los pasos del 1 al 3 con todos los vectores de entrada (L).

Si el error cuadrado medio:  $\langle \varepsilon_k^2 \rangle = \frac{1}{2L} \sum_{k=1}^L \varepsilon_k^2$  es un valor reducido

aceptable, termina el proceso de aprendizaje; sino, se repite otra vez desde el paso 1 con todos los patrones.

Cuando se utiliza una red ADALINE para resolver un problema concreto, es necesario determinar una serie de aspectos prácticos, como el número de vectores de entrenamiento necesarios, hallar la forma de generar la salida deseada para cada vector de entrenamiento, o la dimensión óptima del vector de pesos, o cuáles deberían ser los valores iniciales de los pesos, así como si es necesario o no un umbral  $\theta$ , o cuál debe ser el valor de  $\alpha$ , o cuándo se debe finalizar el entrenamiento, etc.

Respecto al número de componentes del vector de pesos, si el número de entradas está bien definido, entonces habrá un peso por cada entrada, con la opción de añadir o no un peso para la entrada del umbral.

La solución es diferente cuando sólo se dispone de una señal de entrada. En estos casos, la aplicación más común es el filtro adaptativo para, por ejemplo, eliminar ruido de la señal de entrada.

La dimensión del vector de pesos tiene una influencia directa en el tiempo necesario de entrenamiento, generalmente, se debe tomar un compromiso entre este aspecto y la aceptabilidad de la solución (normalmente se mejora el error aumentando el número de pesos).

El valor del parámetro  $\alpha$  tiene una gran influencia sobre el entrenamiento. Si  $\alpha$  es demasiado grande, la convergencia es posible que no se produzca, debido a que se darán saltos en torno al mínimo sin alcanzarlo.

Si  $\alpha$  es demasiado pequeño, se alcanzará la convergencia, pero la etapa de aprendizaje será más larga.

En cuanto al momento en el que se debe detener el entrenamiento, depende de los requerimientos del sistema. El entrenamiento se detiene cuando el error observado es menor que el admisible en la señal de salida de forma sostenida. Se suele tomar el error cuadrático medio como la magnitud que determina el instante en el que un sistema ha convergido.

#### **1.4. Semáforos inteligentes**

Los sistemas de control de semáforos que se venían utilizando hasta la actualidad se basan en mediciones de tránsito que -por medio de algoritmos matemáticos- permiten seleccionar automáticamente una de entre diez configuraciones almacenadas en una biblioteca de programas de una computadora. La diferencia con los sistemas adaptativos es que éstos permiten

lograr una optimización permanente del programa en operación. Es decir que van ajustando los tiempos de las luces constantemente para administrar el flujo de tránsito en el cruce.

Figura 14. **Semáforos instalados actualmente en la ciudad capital**



Fuente: elaboración propia.

Esto lo realiza tomando información de la densidad de vehículos que transita en el día, con eso realiza su aprendizaje teniendo unos bloques de memoria, los cuales se utilizan para poder tomar las decisiones correctas, estos semáforos inteligentes tomaran la información recolectada por los sensores y en base al modelo matemático que se utilizan para calcular tiempos de espera y circulación, para cada vía donde están colocados los mismos.

Dicho sistema deberá cumplir con las siguientes especificaciones:



#### Referente a los vehículos:

- Control del número de vehículos que esperan en un carril con semáforo en rojo y del número de vehículos que circulan por un carril con semáforo en verde.
- Acción sobre los semáforos para la adecuada circulación de los vehículos en función del número de vehículos, tiempos de espera de vehículos y peatones, funcionalidad escogida, hora del día.
- Transmisor - receptor forzar semáforos para condiciones especiales (como el paso de policía, ambulancias, bomberos, muchos coches esperando.)
- Aviso a los conductores en caso de tráfico lento para que tomen rutas alternativas.
- Referente a los peatones
  - Posibilidad de petición de semáforo en verde
  - ayuda a personas invidentes
- Como sistema
  - Verificación de funcionalidad
  - Control y programación de la funcionalidad *on-line*

Tomando en cuenta estas especificaciones se puede deducir que los semáforos funcionarían de forma independiente, eso con base en la tecnología actual y la programación adecuada para cumplirlas.

IBM propone un sistema de sensores que obtiene datos externos de forma autónoma evalúa la zona y transmite la decisión en tiempo real organizando así el tráfico eficientemente.

Figura 15. **Prototipo de sensor de semáforo inteligente de IBM**



Fuente: <http://es.engadget.com/tag/semaforo>. Consultado: 15 de julio de 2013.

Con estas innovaciones se puede asegurar que el flujo de vehículos en las horas pico se mantendrá estable y no ocurrirán embotellamientos en las arterias viales de la ciudad de Guatemala.

Con un circuito vehicular se podrá controlar el tráfico de manera extraordinaria, tomando en cuenta que cada semáforo tiene un sensor

independiente que recolecta la información para ser analizada para poder establecer los tiempos de los mismos.

Figura 16. **Circuito vehicular inteligente**



Fuente: <http://www.haszysz.net/film/uA1fbc7DixA.html>. Consultado: 15 de julio de 2012.

Estos están conectados a una terminal la cual manda la información a una central donde es analizada por el programa y hace una evaluación previa para estimar el conocimiento y las posibles opciones para reducir el tráfico.

Figura 17. **Conectividad total con el controlador de semáforo y conexión a la central**



Fuente: <http://www.haszys.net/film/uA1fbc7DixA.html>. Consultado: 15 de julio de 2012.

Poseyendo 8 sensores de entrada para poder verificar cuantos vehículos transitan en diferentes horas y si la densidad vehicular aumenta, que se podría hacer en caso de embotellamiento y resolverlos en tiempo real.

Figura 18. **Sensores vehiculares para detectar el transporte que llegue a la parada**



Fuente: <http://www.haszysz.net/film/uA1fbc7DixA.html>. Consultado: 15 de julio de 2012.



## **2. MARCO PRÁCTICO**

### **2.1. Caso de estudio**

Semáforos LED ubicados en las zonas 1 y 4, los cuales fueron colocados el año pasado con el objetivo de disminuir el consumo de energía, mejor visualización para los conductores, también fueron colocados en las vías de circulación rápidas e intersecciones grandes.

Las cajas LED son programadas de manera individual y las mismas reproducen lo programado.

Los semáforos poseen cámaras la cuales sirven para verificar el tráfico, accidentes e infractores, estos semáforos son manipulados de manera individual.

Los semáforos LED situados en la zona 1 y 4 se encuentran situados en las siguientes direcciones como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla I. **Ubicación exacta de los semáforos LED vehiculares y peatonales, cantidad de los mismos en las zonas 1 y 4**

Intersección	Semáforo tipo LED	
	Vehiculares	Peatonal
Avenida Elena y 4ª calle zona 1	2	-
Avenida Elena y 6ª calle zona 1	2	-
Avenida Elena y 9ª calle zona 1	1	-
Avenida Elena y 12ª calle zona 1	2	-
Avenida Elena y 13ª calle zona 1	2	-
6ª Avenida y 9ª calle zona 1	2	4
6ª Avenida y 10ª calle zona 1	2	4
6ª Avenida y 11ª calle zona 1	2	4
6ª Avenida y 12ª calle zona 1	2	4
6ª Avenida y 13ª calle zona 1	2	4
6ª Avenida y 14ª calle zona 1	2	4
6ª Avenida y 15ª calle zona 1	2	4
6ª Avenida y 16ª calle zona 1	2	4
6ª Avenida y 17ª calle zona 1	2	4
6ª Avenida y 20ª calle zona 1	6	4
<b>TOTAL ZONA 1</b>	<b>33</b>	<b>40</b>
6ª Avenida y vía 3 zona 4	7	-
6ª Avenida y ruta 6 zona 4	6	4
6ª Avenida y ruta 7 zona 4	8	-
7ª Avenida y ruta 6 zona 4	11	-
6ª Avenida y vía 3 zona 4	10	-
7ª Avenida y 23ª calle zona 1	2	-
<b>TOTAL ZONA 4</b>	<b>44</b>	<b>4</b>

Fuente: elaboración propia.



## 2.2. Análisis de información en el tráfico a las horas pico

La tasa de llegada de vehículos a estos semáforos se muestra en la siguiente tabla la cual contiene horarios distintos para poder ver la diferencia que existe.

Tabla II. **Proporciona un promedio diario se la cantidad de vehículos que transitan a horarios diferentes en las zonas que se están evaluando**

Día\Horario	tasa llegada 2013					tasa de llegada 2011				
	6-7	9-10	12-13	15-16	18-19	6-7	9-10	12-13	15-16	18-19
Lunes	27	15	22	20	32	19	7	12	9	22
Martes	24	14	18	19	29	19	7	14	14	21
Miércoles	26	10	19	20	28	18	8	16	15	21
Jueves	30	14	16	17	25	19	10	16	17	22
Viernes	33	16	20	19	33	19	10	17	14	24

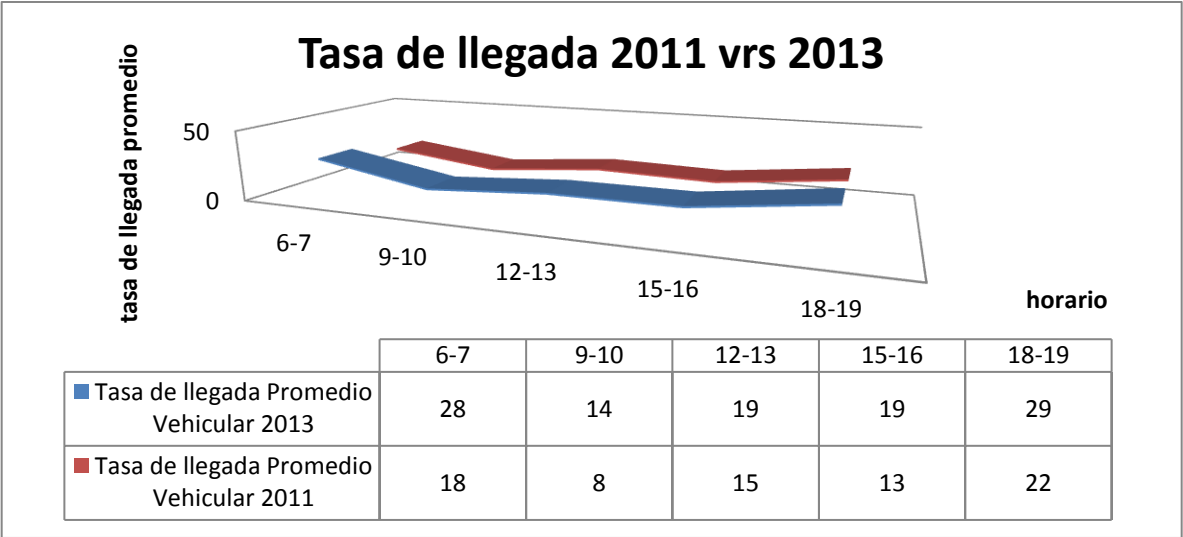
Fuente: elaboración propia.

La tasa de salida de vehículos en cada semáforo es de 10 a 15 por cada 55 segundos.

La cantidad de vehículos al día es de 64 000 en el 2011 hoy en día la cantidad de vehículos que transitan haciende los 80 000 en el 2013.

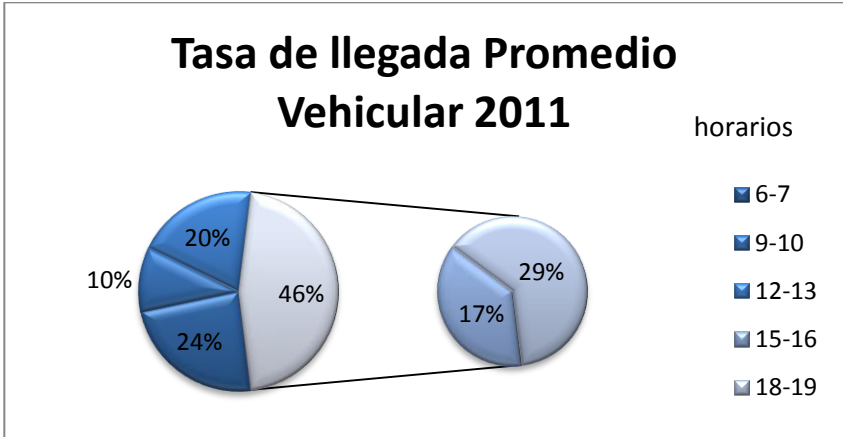
Se puede ver en la gráfica siguiente que el tráfico aumenta de forma considerable en los rangos estipulados.

Figura 19. **Muestra el cambio de la tasa de llegada de los vehículos en diferentes horarios**



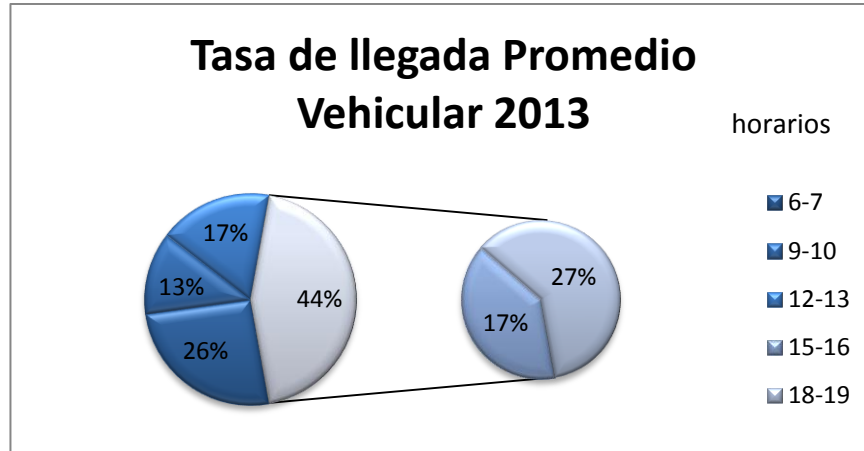
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Porcentaje de vehículos que transitan en la zona 1 en diferentes horarios en el 2011**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Porcentaje de vehículos que transitan en la zona 1 en diferentes horarios en el 2013**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Utilización de la herramienta tiberius

Esta herramienta utiliza modelos matemáticos para poder obtener conocimiento para la toma de decisiones que se utilizaran en los semáforos inteligentes basado en las siguientes ecuaciones:

$$S = w_0 + \sum_{j=1}^N w_j x_j$$

$$S = \sum_{j=1}^N w_j x_j = X \cdot W^T$$

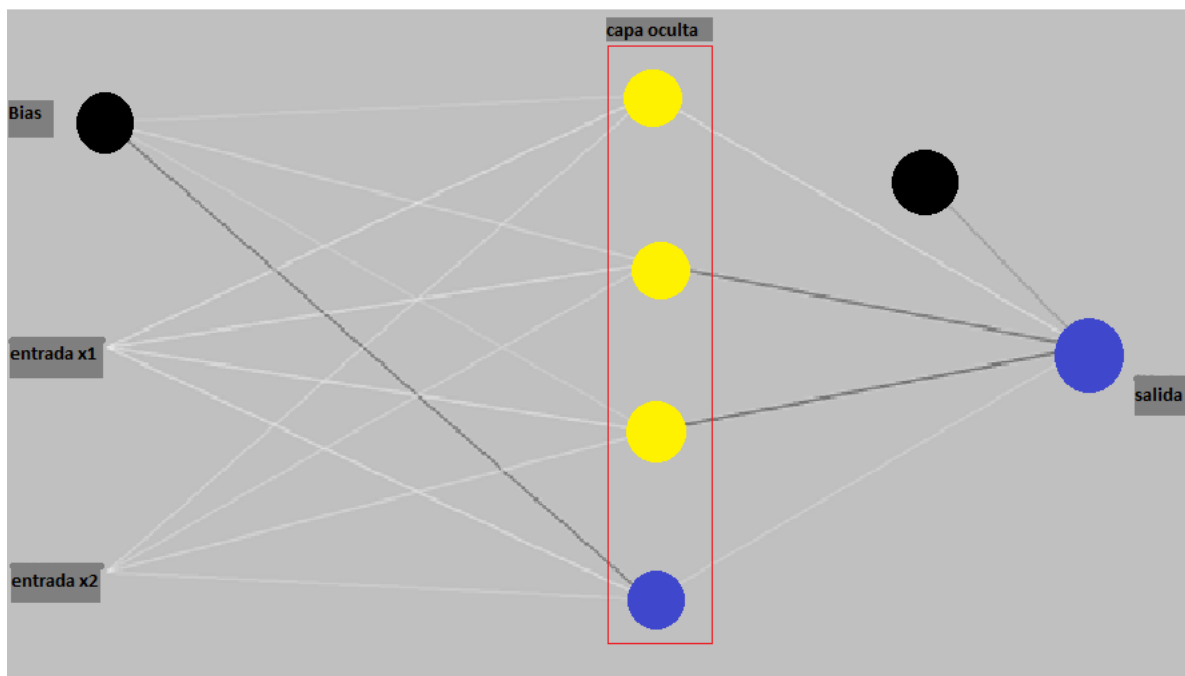
$$y(t+1) = \begin{cases} +1 & s > 0 \\ y(t) & s = 0 \\ -1 & s < 0 \end{cases}$$

$$\langle \varepsilon_k^2 \rangle = \frac{1}{2L} \sum_{k=1}^L \varepsilon_k^2$$

## 2.4. Emulación de información a las redes neuronales

La información obtenida del tráfico al emularla con Tiberius nos proporcionó la siguiente red neuronal la cual está compuesta por dos entradas que las cuales nos proporcionan la cantidad de vehículos que llegan al semáforo pasa por una capa oculta la cual se utiliza para la toma de decisiones.

Figura 22. **Red neuronal proporcionada por la herramienta donde  $x_1$  y  $x_2$  son sensores y determina si el semáforo debe estar verde o rojo**



Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Proporciona un dato de las variantes con el tráfico y cuál es el margen de error que pudiera surgir en la aplicación**

	Input 1	Input 2	Actual	Model	Error
Pattern No.	x1	x2	x5	x5	
1	19	7	22	21.5007	-0.4993
2	19	7	21	21.5007	0.5007
3	18	8	21	21.0002	0.0002
4	19	10	22	23.0046	1.0046
5	19	10	24	23.0046	-0.9954

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Proporciona una importancia relativa de la información y los resultados deseados**

Variable	Rank	Error increase when variable omitted	Relative importance	
x2	1	0.27353817	1	
x1	2	0.14699522	0.537	

Fuente: elaboración propia.

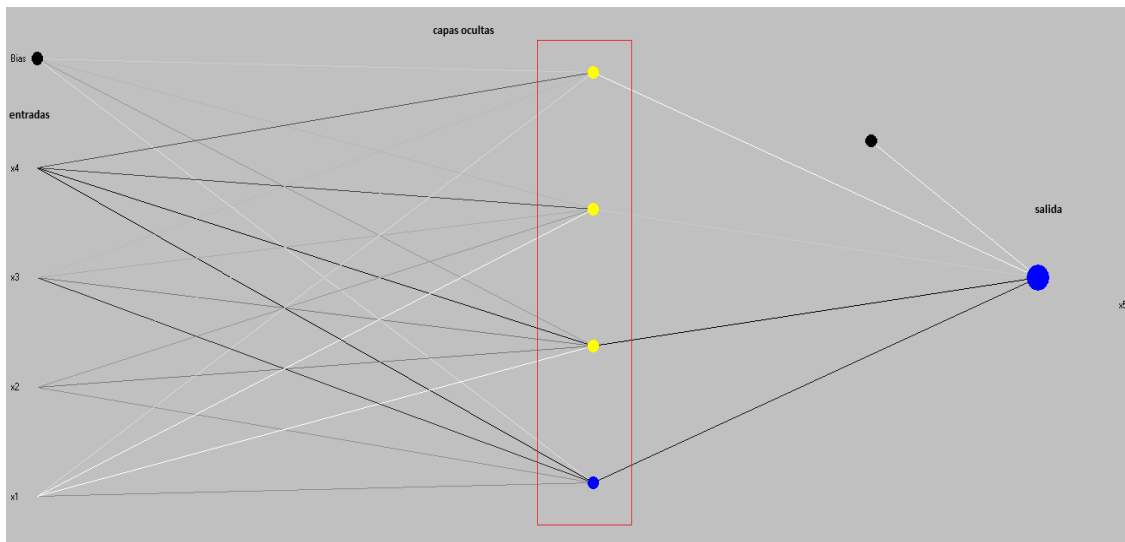
Tabla V. **Proporciona un valor máximo y mínimo de los datos ingresados**

	x1	x2	x5
max val	19	10	24
min val	18	7	21
	+	+	
current val	<b>19</b>	<b>7</b>	<b>21.5007</b>
	-	-	

Fuente: elaboración propia.

Emulación para múltiples sensores.

Figura 23. **Red neuronal proporcionada por la herramienta donde x1, x2, x3 y x4 son sensores y determina si el semáforo debe estar verde o rojo**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Datos de las variantes con el tráfico dado que la cantidad de variable el error en insignificante que pudiera surgir en la aplicación**

	Input 1	Input 2	Input 3	Input 4	Actual
Pattern No.	x1	x2	x3	x4	x5
1	19	7	12	9	22
2	19	7	14	14	21
3	18	8	16	15	21
4	19	10	16	17	22
5	19	10	17	14	24

Fuente: elaboración propia

Tabla VII. **Proporciona una importancia relativa de la información y los resultado deseados**

Variable	Rank	Error increase when variable omitted	Relative importance	
x4	1	1.16318676	1	
x3	2	0.88227026	0.758	
x2	3	0.75117275	0.646	
x1	4	0.39453927	0.339	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Proporciona un valor máximo y mínimo de los datos ingresados**

	x1	x2	x3	x4	x5
max val	19	10	17	17	24
min val	18	7	12	9	21
	+	+	+	+	
current val	19	7	12	9	22.0000
	-	-	-	-	

Fuente: elaboración propia.

## 2.5. Obtención de resultados

Haciendo la simulación con la herramienta tiberius se obtuvieron los siguientes resultados del aprendizaje con 100 iteraciones.

Nos demuestran que la gama de probabilidades de que un cambio en la vía sea favorable, el error después de un aprendizaje es mínimo y conforme va aprendiendo la red neuronal las decisiones tomadas son mejores.

La red neuronal llega a un momento en que las acciones que deben tomarse según las variables de entrada se llegan a formar un patrón, el cual no cambia y la toma de decisiones se vuelve ideal para el sistema.

Correspondientes a los casos de dos sensores y múltiples sensores, se puede notar la variación de los resultado que podemos se tomaron para la toma de decisiones la cuales las se utilizaran para dar vía a los vehículos donde se encuentre la tasa de flujo más grande.

Tabla IX. **Proporciona los valores que nos servirán para la toma de decisiones de los datos ingresados para dos variables**

			Neuron No.	1	2	3	4	Constant	
			type	Linear	Non-Linear	Non-Linear	Non-Linear		
			strength	0.24451	0.09311	0.14079	0.1668	-0.33779	Model
	Vairable	Value	contribution	-0.3002	-0.02694	-0.10217	-0.06332	21.99332	21.50069
1	x1	19		0.83661	0.31078	0.34627	0.50834		
2	x2	7		1.23686	0.41472	0.6372	0.63693		
3	Bias	1		-0.41823	-0.0914	-0.237	-0.1301		

Fuente: elaboración propia.



Tabla X. **Proporciona los valores que nos servirán para la toma de decisiones de los datos ingresados para múltiples variables**

			Neuron No.	1	2	3	4	Constant	
			type	Linear	Non-Linear	Non-Linear	Non-Linear		
			strength	0.36674	0.3768	0.24587	0.2119	-0.17198	Model
	Vairable	Value	contribution	0.21925	-0.3607	-0.14284	0.04225	22.24203	21.99999
1	x1	19		0.62464	-0.02557	0.02922	0.21065		
2	x2	7		0.59671	0.71979	0.56835	0.33664		
3	x3	12		1.15333	0.70715	0.46411	0.38794		
4	x4	9		-1.34256	-1.26677	-1.00053	-0.92889		
5	Bias	1		0.1814	-0.56937	-0.40591	-0.28124		

Fuente: elaboración propia.



### **3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Resultados del análisis de la información**

Basándose en los resultados obtenidos por la simulación se puede llevar a cabo lo siguiente:

La modificación del sistema de tránsito para maximizar la utilidad de la tecnología.

Implementación de inteligencia artificial para disminuir el tráfico en las horas más congestionadas.

Reducción de personal en los semáforos para asignar otras actividades y para mejorar los desempeños del tránsito.

#### **3.2. Comparación del estudio con otros países donde ya fue implementado**

Esta comparación, se baso a la evolución que han tenido otros países en el tema de la tecnología de tránsito, esto da un margen alto de beneficio que se podría implementar en el país para mejorar la fluidez del tránsito como ha pasado en los siguientes países:

- Semáforos Inteligentes en la Bahía de Panamá

Es un sistema de última tecnología de semáforos que funciona en tiempo real inmediato. Se desea reducir el tiempo de viaje y aumentar la fluidez del tránsito. Disponen de funcionalidades avanzadas que ayudaran en la mejora de la seguridad y la regulación del tránsito, también contarán con algunas novedades respecto de los tradicionales, que salvo la incorporación de luces LED (diodos emisores de luz), no han recibido grandes modificaciones en los últimos tiempos.

- **Semáforos Inteligentes en Norteamérica y Roma**

Los científicos norteamericanos y rumanos han desarrollado un modelo informático basado en información real que atribuye inteligencia a los semáforos para optimizar la gestión del tráfico. De esta forma han comprobado que se reduce un 28% el tiempo de espera en los cruces en hora punta y un 6,5% las emisiones de CO2.

- **Semáforo inteligente reduce un 88% los atropellos en España**

Los atropellos en ciudad causan más de 300 muertos al año en España, sobre todo en mayores de 64 años y en niños. Un proyecto pionero, impulsado por el Ministerio de Industria, la Asociación Española de la Carretera y la empresa Sevidetec, pretende corregir estas cifras.

La idea consiste en un cartel electrónico, al estilo de los que se ven en las autopistas y a una altura de 4,5 metros, le avisará si hay un peatón cruzando por la calle. Se pretende que usted frene y permita el paso al vidente. Y funciona, según la prueba piloto que se ha desarrollado en Los Palacios y Villafranca (Sevilla, 35 000 habitantes).

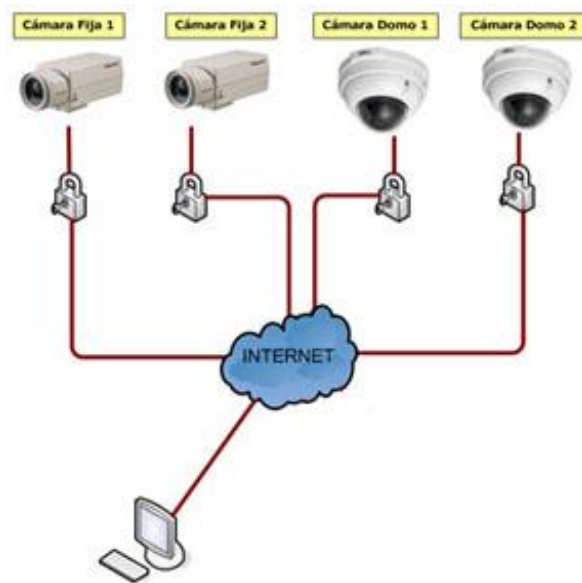
Al realizar la aplicación de este caso de estudio se puede mejorar de manera considerable los siguientes aspectos:

- Congestión vehicular
- Tiempos excesivos de viaje
- Esperas innecesarias
- Mayor gasto de combustible
- Problema de paciencia de los conductores
- Accidentes vehiculares

### 3.3. Esquema a utilizar después del análisis de resultados

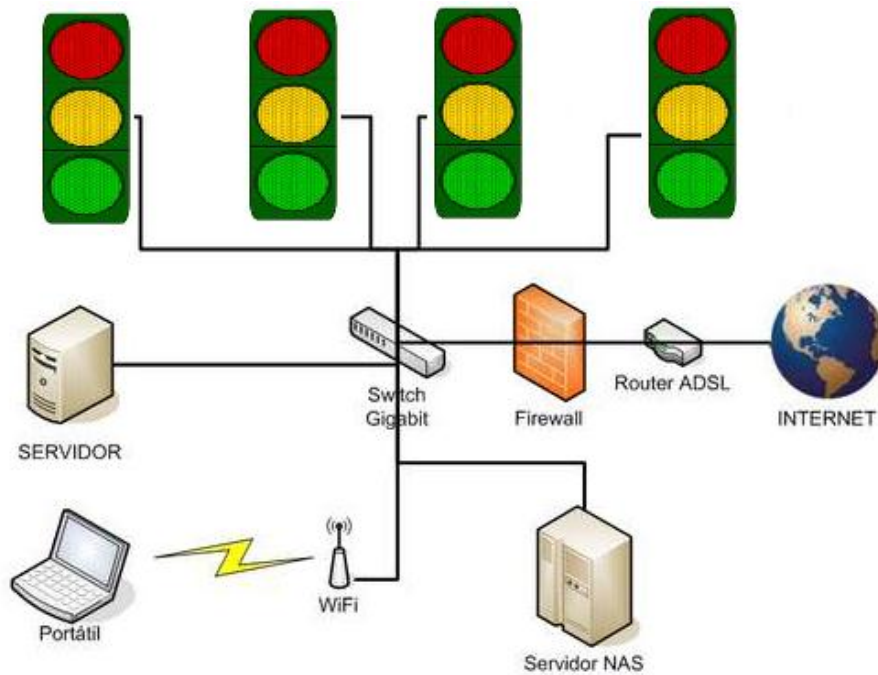
Los sistemas actuales se les podrían implementar una conexión entre ellos para la unificación de los mismos y aplicar redes neuronales, para la toma de decisiones en los semáforos para el cambio de luces y disminuir la densidad de vehículos en cualquier momento que aumente la llega de los mismos.

Figura 24. **Conectividad total con un servidor central de las cámara**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Centralización de los semáforos**



Fuente: elaboración propia.

### 3.4. **Factibilidad de implementación del sistema**

Que se puede implementar un sistema inteligente para el control del tráfico esto proporciona los siguientes beneficios.

Mejorar la fluidez del tráfico en cualquier horario en el cual exista saturación.

Reducir la asignación de personal a estas actividades y atender otros casos de igual importancia.

Un mejor control del tránsito para reducir los accidentes vehiculares y peatonales.

### **3.5. Casos de aplicación en otros países**

Entre los países que han implementado los semáforos inteligentes y han obtenido resultados eficientes, mejoras con la fluidez del tránsito y reducción de accidentes entre otros aspectos tenemos los siguientes:

- Colombia
- Zaragoza
- México
- Venezuela
- España
- Estados Unidos

Ver anexos para los reportajes.





## CONCLUSIONES

1. El estudio realizado muestra las deficiencias del sistema actual de tránsito.
2. Los semáforos no están centralizados lo cual genera un problema para poder controlarlos de forma eficiente.
3. Se desperdicia mucho personal para manejar los semáforos de manera individual, los cuales deberían hacer otras actividades.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio más detallado para mejorar la tasa de flujo vehicular en la ciudad.
2. Realizar la implementación de tecnología de tránsito inteligente en la ciudad para evolucionar por completo el sistema de tránsito.
3. Realizar una centralización de las cámaras y los semáforos para manejarlos desde una única sede con personal adecuado para su administración.
4. Se debería hacer una reestructuración del sistema de tránsito de la ciudad pensando a futuro en implementar redes neuronales.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CIBERCONTA. *Las redes neuronales artificiales*. [en línea]. <<http://ciberconta.unizar.es/leccion/redes/>>. [Consulta: 15 de julio de 2011 ].
2. HASZYSZ. *Inteligencia Artificial*. [en línea]. <http://www.haszys.net/film/uA1fbc7DixA.html>>. [Consulta: 15 de julio de 2011 ].
3. INTELIGENCIA ARTIFICIALUDB. *Redes Neuronales de tipo Biológico*. [en línea]. <http://inteligenciaartificialudb.blogspot.com/2008/01/redes-neuronales.html>>. [Consulta: 15 de julio de 2011 ].
4. MONOGRAFIAS. *Inteligencia artificial*. [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos16/la-inteligencia-artificial/la-inteligencia-artificial.shtml>>. [Consulta: 15 de julio de 2011 ].
5. MONOGRAFIAS. *Redes neuronales*. [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml>>. [Consulta: 15 de julio de 2011 ].



## **ANEXOS**





## Casos de aplicación en otros países

### 1. Semáforos inteligentes en seis puntos en Bolivia

← → ↻ [www.eldeber.com.bo/vernotasantacruz.php?id=120211203051](http://www.eldeber.com.bo/vernotasantacruz.php?id=120211203051)

¡Rápido y Fácil!  
**PUBLICA GRATIS**

¡Compra y Venta de Productos Usados!

Clasificados Gratis

Autos Electrónicos Inmuebles Animales Muebles

Martes 20, de agosto del 2013  
Santa Cruz de la Sierra - Bolivia

**eldeber.com.bo**

▶ AHORA EDICIÓN IMPRESA CLASIFICADOS

Santa Cruz Nacional Internacional Economía Deportes Sociales Escenas Editorial Clima

**Santa Cruz**  
Edición Impresa 12 Febrero 2012

### Semáforos inteligentes en seis puntos

Luz verde. Estarán habilitados a fin de mes. Llegó una misión de Francia

FOTOGRAFÍAS



Plan. La avenida San Aurelio y segundo anillo es uno de los seis puntos

**Roberto Navia**

**Clasificados Gratis**

¡Compra y Venta de Productos Usados!

Autos Electrónicos Inmuebles Animales Muebles Notebooks

¡Rápido y Fácil!  
**PUBLICA GRATIS**

Hasta fin de este mes, seis intersecciones del segundo anillo serán controladas por los semáforos inteligentes, cuya instalación está en su etapa final y ejecutada por la misión técnica francesa que ha llegado a Santa Cruz en representación de la empresa Sagemco. Rolando Ribera, jefe de semaforización de la Alcaldía municipal, dijo que las seis avenidas están dentro del segundo anillo y los puntos de intersección son las avenidas La Barrancas, San Aurelio, Tres pasos al frente, Brasil, Virgen de Cotoca y Guapay (canal Cotoca). La autoridad informó que la misión francesa llegó el 6 de febrero y se quedará por un mes en la ciudad. Su trabajo consiste en la dotación de los semáforos, colocación de controladores de tráfico vehicular y del puesto central que está en el barrio Urbarí, como también la capacitación de los técnicos del municipio. Durante estos días se están colocando los controladores a metros de los semáforos que

Fuente: < <http://www.eldeber.com.bo/vernotasantacruz.php?id=120211203051> > [Consultado: julio de 2013].

## 2. Semáforos en red servirán para sancionar a malos conductores en Bolivia

The screenshot shows the website [www.eldeber.com.bo](http://www.eldeber.com.bo) with the following elements:

- Header:** Includes the OLX logo, a navigation bar with categories like Autos, Electrónicos, Inmuebles, Animales, and Muebles, and the website name **eldeber.com.bo**.
- Left Sidebar:** A vertical menu with icons for Autos, Electrónicos, Inmuebles, Animales, and Muebles, along with the text "¡Compra y Venta de Productos Usados!" and "PÚBLICA GRATIS".
- Main Content Area:**
  - Weather: "EL CLIMA 31 °C"
  - Section: "ACTO"
  - Article Title: "Semáforos en red servirán para sancionar a malos conductores"
  - Text: "La Alcaldía inauguró el primer centro de control de Bolivia"
  - Date: "13 de Octubre de 2012 | 22:35"
  - Image: A photograph of a modern traffic control center with multiple computer monitors and a person operating them.
  - Caption: "Moderno. El puesto de control central de semáforos, en pleno funcionamiento"
- Right Sidebar:**
  - Advertisement: "Envía y recibe tu dinero de forma instantánea y segura"
  - Section: "MÁS NOTICIAS"
  - News Items:
    - EL DEBER ECONOMÍA. El Ministerio de Hidrocarburos rinde cuentas <http://ow.ly/o66TF> Hace 56 minutos
    - EL DEBER Martin Luther King, un orador con mayúsculas sin heredero claro <http://ow.ly/o668m> Hace 58 minutos
  - Footer: "A 59 361 personas les gusta EL DEBER." with a grid of user avatars.

Fuente <<http://www.eldeber.com.bo/semaforos-en-red-serviran-para-sancionar-a-malos-conductores-/121012223520>> [Consultado: julio de 2013].

### 3. Así son los nuevos semáforos de Bogotá

Edición Online  
Martes, 20 de Ago de 2013  
Última Actualización: 12:04 pm

# ELESPECTADOR.COM

Bogotá

NOTICIAS OPINIÓN ECONOMÍA DEPORTES CULTURA ENTRETENIMIENTO VIVIR TECNOLOGÍA BLOGS TOMA LA PALABRA

¿Dónde estoy? > Noticias > Bogotá

## Listas de Empleos

OLX.com.GT

Oferta y Demanda de trabajo en Guatemala. Inscripción gratuita.

Anuncios Google

Bogotá | 21 Abr 2009 - 11:00 pm

La Secretaría de Movilidad compró por \$1.100 millones nuevas bombillas electrónicas para los semáforos

## Así son los nuevos semáforos de Bogotá

Mayor ahorro de energía y menor impacto en el medio ambiente son algunas de las ventajas.

Por: Laura Juliana Muñoz

9 Compartido



Foto: Diana Sánchez - El Espectador

Publicidad



Nuevo Clase A. El pulso de una nueva generación.

Mercedes-Benz The best of nothing.

Más de Bogotá



### Secretaría de Hábitat anuncia construcción de obras peatonales en Ciudad Bolívar

20 Ago - 11:53 am Entre los trabajos se incluye la construcción de 26 andenes.

20 Ago - 11:32 am Instalación de línea de alta tensión enfrenta a Mosquera y Bojacá

Fuente <<http://www.elespectador.com/impreso/bogota/articuloimpreso137082-asi-son-los-nuevos-semaforos-de-bogota>> [Consultado: julio de 2013].

## 4. Peribús funcionará con semáforos inteligentes en México

### Peribús funcionará con semáforos inteligentes

ESTADOS • 25 FEBRERO 2011 • 7:05AM — SILVIA ARELLANO E ILICH VALDEZ

**Correrá de Cuatro Caminos a Xochimilco; los dispositivos funcionan con sensores sincronizados entre los autobuses y el cambio de las luces.**



A PARTIR DE 2012 DARÁ INICIO EL SERVICIO DE TRANSPORTE DENOMINADO PERIBÚS.

México • A partir de 2012, a lo largo de 40 kilómetros del

#### MÁS ACERCA DE ESTE ARTÍCULO

- Presenta Ebrard programa "Peribús"

Periférico se instalarán semáforos inteligentes, bahías en carriles centrales y parabuses seguros para el ascenso y descenso de las pasajeros, pues dará inicio el servicio de transporte denominado Peribús.

Ese servicio operará en la parte superficial del Periférico y va a correr desde Cuatro Caminos hasta Xochimilco, trayecto en el que se colocará en entradas y salidas de los carriles centrales a la lateral los semáforos inteligentes, además de puentes peatonales para evitar accidentes.

Dichos dispositivos funcionan con sensores sincronizados entre los autobuses y el cambio de las luces; es decir, cuando una unidad del Peribús se acerque a las entradas o salidas de los carriles centrales, el semáforo cambiará de verde al amarillo de prevención y 10 segundos después a rojo.

Cuando termine de pasar la unidad de transporte público —en seis segundos—, el semáforo cambiará a verde para volver a dar el paso a los vehículos particulares.

El Peribús operará por carriles centrales, en la parte superficial con un confinamiento especial para el transporte público, similar al del Metrobús, para darle mayor velocidad y también desahogar las laterales.

Marcelo Ebrard, jefe de Gobierno, anunció las obras del nuevo servicio y dijo que en ese transporte no habrá microbuses, sólo autobuses.

"Esto significa un cambio mayor en la modalidad del transporte en la ciudad, dicho de otro modo, tendremos autobuses en carril central, lado derecho de todo el Periférico".

Twitter 0

Me gusta 0

Share

+1 0

Imprimir

Enviar

**Innovación en Periférico**  
**TRANSPORTE SEGURO**  
**TECNOLOGÍA DE PREVENCIÓN**  
▶ Los semáforos activarán la luz roja ante la presencia del Peribús, para que se detenga la circulación y se  
Zona en detalle  
DF  
Carriles centrales  
Columnas de Segundos

Fuente<<http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/c9f7284947a4566849c43f3011cd6c09>>

[Consultado: julio de 2013].

## 5. Los nuevos semáforos inteligentes en la ciudad de Panamá

Semáforos Inteligentes para Cd. de Panamá

### Los nuevos semáforos Inteligentes para ciudad de Panamá

A finales de este año se realizará la licitación para la compra de los aparatos.



Usted necesita actualmente 45 minutos para llegar desde el puente de San Miguelito hasta la Cervecería Nacional por la vía Ricardo J. Alfaro. ¿Cuánto le tomaría con el programa de optimización de los semáforos? 22.5 minutos.

Sí, la mitad del tiempo. Ocurre que la Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre (ATTT) trabaja en un proyecto, cuyo costo es de 7 millones de dólares, para optimizar la red de semáforos de la capital, con la que se pretende reducir en 50% tiempo que un conductor utiliza para desplazarse en las horas de mayor tránsito.

Un estudio de la ATTT confirmó que entre las 6:00 y las 8:00 de la mañana el propietario de un carro particular utiliza 45 minutos para recorrer el tramo que hay desde el puente de San Miguelito hasta la Cervecería Nacional por la vía Ricardo J. Alfaro.

"El proyecto tiene como objetivo primordial mejorar los tiempos de viaje 'en las horas pico' dentro de la ciudad de Panamá, reducir el consumo de combustible de los vehículos particulares y ayudar o servir de soporte para el proyecto de mejoramiento del transporte público", según Osvaldo Campbell, jefe del departamento de dispositivos de tránsito de la ATTT.

#### Ahorro

El funcionario aseguró que con una mejor sincronización de los semáforos y con el mejoramiento total del sistema, el consumo de combustible bajará y por tanto se solucionarán en gran medida los problemas que aquejan a los sectores colectivo selectivo y particular de transporte, los cuales, según el director de la institución, Angelino Harris, cuestan 500 millones de dólares anuales.

Campbell precisó que la automatización del sistema permitirá a la Autoridad del Tránsito monitorear, y a la vez controlar, todos los aparatos que hay en la ciudad, a través de un centro único de mando que actualmente no existe.

Hoy, las intersecciones reguladas por semáforos funcionan de manera local, lo que impide a las autoridades mejorar la forma en que operan. "Ahora hay que ir directamente al lugar donde está el semáforo. Con el nuevo sistema lo haremos desde centro de mando", aseguró el funcionario.

En una entrevista anterior, Harris opinó que los semáforos en vez de agilizar el tránsito lo que hacen es complicarlo cada vez más. "Con el programa de optimización, el mantenimiento y la reparación de los equipos será más expedita", dijo. Además, todos los semáforos estarán en red, conectados mediante un sistema de comunicación telefónica o inalámbrica.

Todavía no se ha decidido el método, pues en el pliego que se sacará a licitación a finales de este año o a principios del otro, se dejará esa definición abierta para que la empresa proponente plantee la mejor opción.

#### Luz verde

En la ciudad de Panamá hay 110 semáforos, de los cuales 60% fue instalado en los años 90 y el restante 40% en la década de los 80. Con poco mantenimiento, "víctimas" de cortocircuitos y actos vandálicos, su tiempo de vida útil ya se agotó.

Con el nuevo sistema, la Autoridad del Tránsito pretende aumentar la red hasta tener 190 aparatos, que además de agilizar el tráfico estarán programados para regular el paso peatonal, incluyendo el de personas con discapacidad.

Por ejemplo, según explicó Campbell, los nuevos semáforos tendrán dispositivos de audio que ayudarán a los discapacitados visuales a escuchar un sonido particular a través del cual identificarán el momento en que pueden cruzar la vía.

En aquellos lugares donde el flujo peatonal sea menor, el semáforo será activado manualmente por los peatones poco antes de cruzar, y mientras no haya personas la luz se mantendrá en verde para agilizar el tránsito.

Campbell aclaró que, contrario a lo que muchas personas piensan, aún no existe en el país ninguno de los semáforos denominados "inteligentes".

Explicó que los que hay en Multiplaza Pacific solo agilizan el tránsito local de una importante actividad comercial y residencial.

La diferencia entre los aparatos del Multiplaza Pacific y los que serán instalados en la ciudad de Panamá radica en que los primeros no funcionan en tiempo real y los segundos sí lo harán, es decir, se activarán de acuerdo con el movimiento de vehículos en determinada hora.

En las horas pico, el "inteligente" activará muchas más veces la luz verde en aquellas vías donde los conductores requieran desplazarse con mayor agilidad, es decir, en las conocidas "horas pico", mientras que en las horas normales ajustará y regulará el flujo.

Fuente<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=261419>> [Consultado: julio de 2013].

## 6. Zaragoza instala semáforos inteligentes que detectan los atascos y el bluetooth de los coches

### Zaragoza instala semáforos 'inteligentes' que detectan los atascos y el 'bluetooth' de los coches

MIGUEL ÁNGEL COLOMA, ZARAGOZA | 09/01/2011 a las 06:00

15 Comentarios | A A

El centro de gestión podrá saber cuáles son los recorridos más usados por los conductores gracias a la señal que emiten sus manos libres. Los nuevos sistemas se están probando y funcionarán a partir del próximo verano.

- Twitter
- Recomendar
- Tuenti
- Menéame
- +1 0
- Share
- Compartir
- Enviar
- Imprimir
- Favoritos



#### RELACIONADAS

- La inversión final superará los seis millones de euros

Los semáforos 'inteligentes' han llegado a Zaragoza. Los viejos aparatos se limitaban a cambiar de color cada cierto tiempo para dar paso alternativo a vehículos y peatones. Sin embargo, ahora van a ser capaces de detectar el manos libres de su coche para seguir sus pasos por toda la ciudad. Y no solo eso, también van a medir las colas que se producen en los cruces más conflictivos para detectar enseguida un atasco. Con esta información y con la que aporten los nuevos sensores que se han instalado en el asfalto y que cuentan los coches que pasan por un punto, el centro de gestión de tráfico podrá advertir al instante a

Fuente<[http://www.heraldo.es/noticias/zaragoza\\_instala\\_semaforos\\_inteligentes\\_que\\_detectan\\_los\\_atascos\\_bluetooth\\_los coches.html](http://www.heraldo.es/noticias/zaragoza_instala_semaforos_inteligentes_que_detectan_los_atascos_bluetooth_los coches.html)> [Consultado: julio de 2013].

## 7. Los semáforos inteligentes reducen la contaminación y agilizan el tráfico en la ciudad de Bucarest, en Rumania

¡Tú puedes ser el primero en ganarlo!

Participa ahora

🏠 » Ciencia » Noticias

SUPONDRÍAN UN 28% MENOS DE TIEMPO DE ESPERA EN LOS CRUCES Y UN 6,5% MENOS DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

### Los semáforos inteligentes reducen la contaminación y agilizan el tráfico

Científicos norteamericanos y rumanos han desarrollado un modelo informático basado en información real que atribuye inteligencia a los semáforos para optimizar la gestión del tráfico. De esta forma han comprobado que se reduce un 28% el tiempo de espera en los cruces en hora punta y un 6,5% las emisiones de CO<sub>2</sub>. El modelo puede potenciarse si se incorpora a los automóviles un software específico que avise a los conductores tanto de las velocidades recomendables en función de las luces de los semáforos, como en función de la cantidad de coches que se pueden encontrar en los atascos. Esta aplicación también podría trasladar información al sistema para mejorar la regulación del tráfico mediante los semáforos. Por Yaiza Martínez de [Tendencias Científicas](#).

18 Feb 2008 | TENDENCIAS CIENTÍFICAS

Los avances en la informática móvil y en las comunicaciones sin cable ofrecen cada vez más posibilidades para el desarrollo de Sistemas de Transporte Inteligente (ITS). Estos sistemas implican un amplio grado de tecnologías basadas en telecomunicaciones y electrónica, así como su incorporación a la infraestructura de vehículos y sistemas de transporte. La finalidad de estos ITS sería la de reducir los atascos y mejorar la seguridad del tráfico.

Partiendo de los últimos avances en este campo, un equipo de informáticos de la [Rutgers University](#) de Estados Unidos, en colaboración con la Universidad Politécnica de Bucarest, en Rumania, ha desarrollado un modelo en el cual los semáforos "toman decisiones" de control de sus luces basándose en la información que proviene de los vehículos, informa la revista [NewScientist](#).

El modelo registró los picos de flujo de tráfico de dos de los principales cruces de la ciudad de Bucarest, en Rumania, al tiempo que se establecía el patrón de dicho flujo desde el laboratorio de computación distribuida de la Rutgers University.

El modelo se considera como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades, mientras que la simulación es la experimentación con un modelo de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo.

#### Reducción de emisiones

En el modelo de estos informáticos, a los semáforos se les suministró información acerca de la posición y de la velocidad de todos los vehículos de las calles cercanas de Bucarest, y se les programó para calcular con esta información cómo organizar los cambios de color de sus luces, con el fin de agilizar el tráfico.



Fuente<<http://www.laflecha.net/canales/ciencia/noticias/los-semaforos-inteligentes-reducen-la-contaminacion-y-agilizan-el-trafico>> [Consultado: julio de 2013].

## 8. Semáforos inteligentes: aplacan la congestión en la encrucijada de Palo Negro

### Semáforos inteligentes: Aplacan la congestión en la Encrucijada de Palo Negro

Conductores recomiendan colocarlos en todo el estado

Sábado, 30 enero a las 00:45:08



Regionales ▶

#### Noticia

*La cuenta regresiva que anuncia el cambio de rojo a verde supone una terapia cuando el estrés y las tensiones están frente al volante*

La Encrucijada de Palo Negro, punto de referencia del desastre en los últimos años y convertida hoy en un símbolo de esplendor, cuenta con una novedad que todos comentan y que emula a los mecanismos viales de los países más avanzados. Se trata de los semáforos inteligentes, iguales que los tradicionales, pero con un elemento adicional.



Los relojes digitales que fueron instalados en la Encrucijada de Palo Negro desde diciembre del 2009, han sorprendido a los conductores por la influencia que han ejercido en el comportamiento del tráfico. El resultado ha sido un paso rápido y sin colas por uno de los puntos viales más importantes del estado donde convergen los municipios Libertador, Linares Alcántara, Zamora y Girardot.

Tienen un programa integrado que muestra un conteo regresivo con un tiempo promedio de 90 segundos en rojo y otros 20 segundos en verde, que resultan suficientes para administrar el flujo vehicular y el paso de los peatones. Quienes esperan el cambio de la luz, no sucumben al estrés y se concentran en el secundario en reversa, cuya presencia ayuda a medir el momento para avanzar y detenerse.

Fuente<<http://www.elperiodiquito.com/modules.php?name=News&file=article&sid=2466>>

[Consultado: julio de 2013].



**Todos**  
somos la ciudad



**Entidad Metropolitana Reguladora  
de Transporte y Tránsito**

Oficio No. ST. 0341-11  
Guatemala, 24 de Marzo de 2011

Licenciada  
Ligia Diéguez de Saravia  
Unidad de Información  
Municipalidad de Guatemala  
Presente.

Licenciada Diéguez:

Reciba un cordial saludo de esta Secretaría. Respecto a Oficio No. 029-2011, enviado por su Unidad, donde requieren información sobre los semáforos de la Ciudad de Guatemala, le informo lo siguiente:

Cuántos semáforos LED están ubicados en la zona 1 y 4, a continuación le detallo su ubicación y la cantidad que se encuentra en cada cruce.

Intersección	Semáforo Tipo LED	
	Vehiculares	Peatonal
Ave. Elena y 4ª Calle zona 1	2	-
Ave. Elena y 6ª Calle zona 1	2	-
Ave. Elena y 9ª Calle zona 1	1	-
Ave. Elena y 12ª Calle zona 1	2	-
Ave. Elena y 13ª Calle zona 1	2	-
6ª avenida y 9ª calle zona 1	2	4
6ª avenida y 10ª calle zona 1	2	4
6ª avenida y 11ª calle zona 1	2	4
6ª avenida y 12ª calle zona 1	2	4
6ª avenida y 13ª calle zona 1	2	4
6ª avenida y 14ª calle zona 1	2	4
6ª avenida y 15ª calle zona 1	2	4
6ª avenida y 16ª calle zona 1	2	4
6ª avenida y 17ª calle zona 1	2	4
6ª avenida y 20ª calle zona 1	6	4
<b>TOTAL ZONA 1</b>	<b>33</b>	<b>40</b>
6ª avenida y vía 3 zona 4	7	-
6ª avenida y ruta 6 zona 4	6	4
6ª avenida y ruta 7 zona 4	8	-
7ª avenida y ruta 6 zona 4	11	-
7ª avenida y vía 3 zona 4	10	-
7ª avenida y 23 calle zona 1	2	-
<b>TOTAL ZONA 4</b>	<b>44</b>	<b>4</b>

21 calle 6-77, zona 1, Palacio Municipal, Centro Cívico, 4to. Nivel, PBX: 2285-8400 FAX: 2285-8426  
www.muniguate.com

**Todos**  
somos la ciudad



## Entidad Metropolitana Reguladora de Transporte y Tránsito

Copia de estudio que la municipalidad utilizó o utiliza para la implementación, colocación y ubicación de los semáforos LED, si son programados o se activan manualmente, referente al estudio para la implementación, colocación y ubicación de los semáforos LED, le informo que como primera instancia se toma el hecho de los semáforos que están ubicados en dirección poniente, ya que por el reflejo del sol que dá en la mañana, el semáforo LED tiene mejor visualización para los conductores que los semáforos incandescentes; así mismo se colocan semáforos en vías principales de la ciudad; se colocan también en vías de circulación rápida para que sea fácil la visualización por el semáforo tipo LED; en una intersección grande es otro punto en dónde se instalan los semáforos tipo LED. Con respecto a que si las cajas LED son programadas o se activan manualmente, le indico que los controles de semáforos se les colocan una programación y las cajas de luces LED solamente reproducen la programación colocada.

Estadísticas de conteo vehicular de zona 1, de toda la semana en todos los horarios de junio 2,010 hasta que se colocaron los semáforos LED y desde el momento que se colocaron a la fecha, le indico que esta Secretaría no cuenta con conteos vehiculares de la zona y fechas mencionadas.

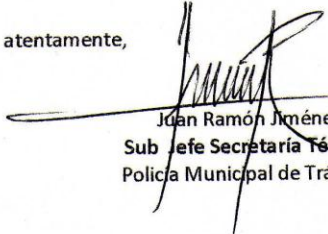
Croquis de la ubicación de los semáforos LED en zona 1, adjunto le envío el croquis de los cruces donde se encuentran instaladas las cajas LED.

Copia de estadísticas de factibilidad al implementar el proyecto de los semáforos LED, la Factibilidad de los semáforos tipo LED se basa principalmente en el ahorro de energía que se tiene en comparación a las cajas tipo incandescentes y a la mejoría en visualización para cualquier conductor para que vean los semáforos más fácilmente.

Los semáforos LED colocados en zona 1 poseen cámaras, cuántos, y si se pueden manipular desde un servidor central, y si también poseen sensores de detección de vehículos, le indico que las programaciones de los semáforos tipo LED no se puede manipular por medio de un servidor central, sino que se coloca la programación manualmente, así también le indico que no se encuentran colocados detectores vehiculares en la Zona 1.

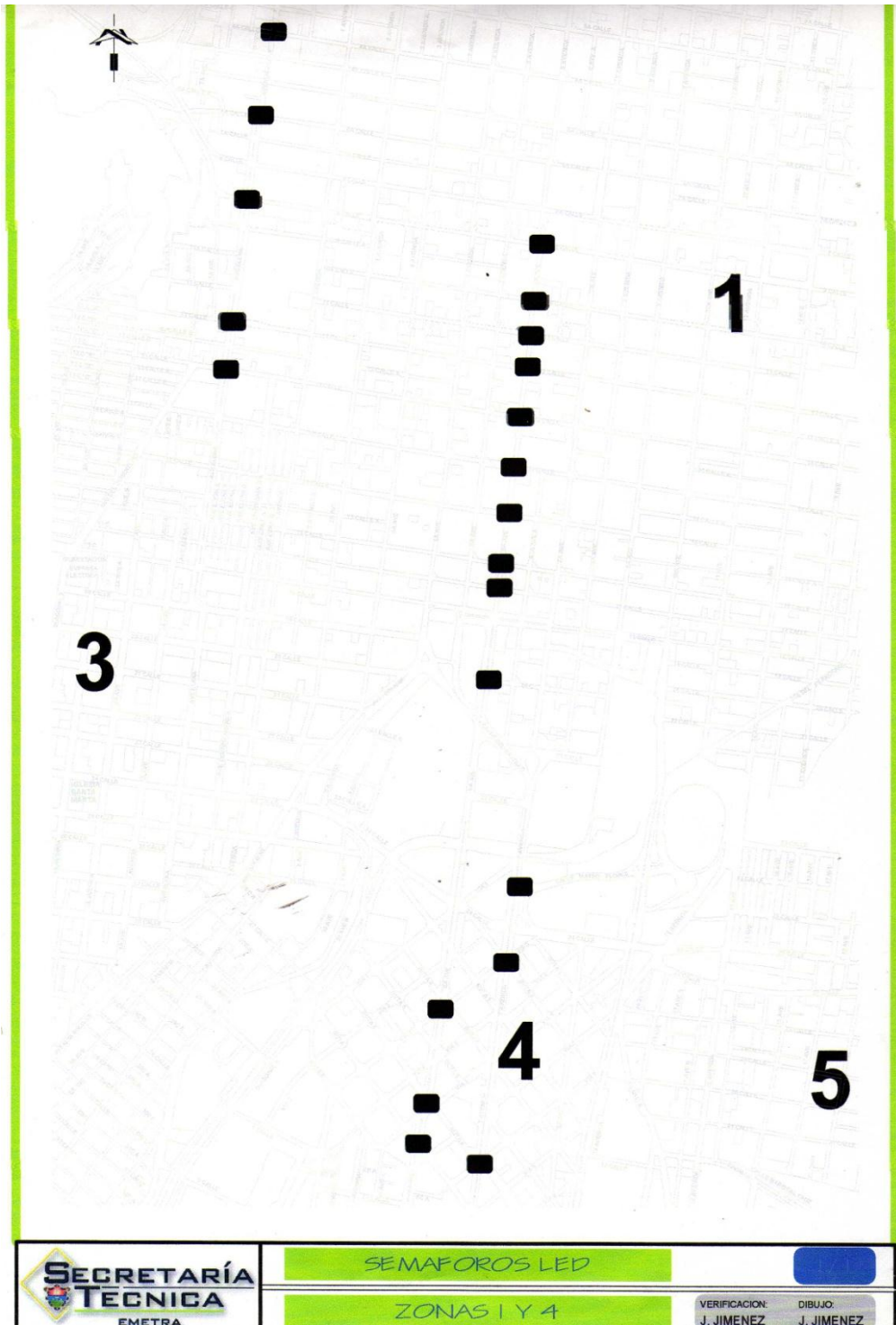
En referencia a que si poseen cámara le indico que por parte de esta Secretaría no ha instalado ninguna cámara, la unidad encargada del manejo e instalación de las cámaras es la Intendencia Administrativa de la Policía Municipal de Tránsito, la cual tiene instaladas cámaras en el Paseo La Sexta.

Sin otro particular, atentamente,

  
Juan Ramón Jiménez  
Sub Jefe Secretaría Técnica  
Policía Municipal de Tránsito



C.c. Archivo  
/ba



**SECRETARÍA  
TÉCNICA**  
EMETRA

SEMAFOROS LED

ZONAS 1 Y 4

VERIFICACION: J. JIMENEZ  
DIBUJO: J. JIMENEZ

