

Editorial. Publicar o no publicar he ahí el dilema...

Jorge Alberto Hernández Cerón

CB-SMoT+: una extensión al algoritmo CB-SMoT

Francisco Moreno, Guillermo Orrego, Andrés Pineda

Modelado y simulación del problema de movilidad vehicular en un sistema de intersecciones semafóricas

Paola A. Sánchez, Fernán Villa Garzón

GPLAD: programación estructurada sobre dispositivos Android

Luisa Fernanda Hernández Ramírez, Fabián Andrés Giraldo Giraldo, Jonathan Ray Cárdenas Castellón

Desarrollo de un modelo de reconocimiento y clasificación de rostro utilizando técnicas de inteligencia artificial (Lamda-Fuzzy)

Oscar Eduardo Gualdrón Guerrero, Ivaldo Torres Chávez, Jorge Luis Díaz Rodríguez

Un enfoque para la creación de tareas robóticas auto-sanables basado en el paradigma de computación en la nube

Byron Portilla-Rosero, Jaime Alberto Guzmán Luna

La gestión de indicadores empresariales con lógica difusa para la toma de decisiones

Martín Darío Arango Serna, Conrado Augusto Serna Urán, Giovanni Pérez Ortega

Economía computacional basada en agentes

Fabián A. Giraldo Giraldo, Jonatan Gómez Perdomo

La interceptación de datos informáticos entre la licitud y lo delictual

Ana María Mesa Elneser, Jorge Eduardo Vásquez Santamaría



FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA



Facultad de
Ingenierías



©Fundación Universitaria Luis Amigó

Lámpsakos

Nº 8, julio – diciembre de 2012

ISSN: 2145-4086

Rector

Pbro. José Wilmar Sánchez Duque

Vicerrectora de Investigaciones

Isabel Cristina Puerta Lopera

Decano Facultad de Ingenierías

Jorge Alberto Hernández Cerón

Jefe Departamento de Fondo Editorial

Carolina Orrego Moscoso

Diagramación

Arbey David Zuluaga Yarce

Corrector de estilo

Juan Carlos Rodas Montoya

Contacto editorial

Fundación Universitaria Luis Amigó. Transversal 51A #67 B 90. Medellín, Antioquia, Colombia Tel: (574) 448 76 66 (Ext. 9711. Departamento de Fondo Editorial) www.funlam.edu.co - fondoeditorial@funlam.edu.co

Órgano de divulgación de la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó. Hecho en Colombia.

Financiación realizada por la Fundación Universitaria Luis Amigó.



Licencia Creative Commons Atribución- No Comercial – Compartir Igual 4.0 Internacional.

LÁMPSAKOS

Director de la Revista

Mg. Jorge Mario Gaviria Hincapié

Comité Científico

Ph.D. Daniel Borrajo Millán, Universidad Carlos III de Madrid, España.

Ph.D. Amit Chaudhry, Panjab University, India.

Ph.D. Oscar Sapena, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Ph.D. Rubén Ángel Galindo, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Ph.D. Giner Alor Hernández, Instituto Técnico de Orizaba, México.

Mg. Julián Alberto Patiño, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Mg. Néstor Raúl Londoño, Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.

Comité Editorial

Ph.D. Marcelo Becker, Universidad de São Paulo, Brasil.

Ph.D. Ulises Juárez Martínez, Instituto Técnico de Orizaba México.

Ph.D. Aldo Pardo García, Universidad de Pamplona, Colombia.

Ph.D. Alexander García Castro, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Mg. Mauricio López Bonilla, Fundación Universitaria Luis Amigó, Colombia.

Mg. Francisco Javier Aguirre, Fundación Universitaria Luis Amigó, Colombia.

Árbitros

Ph.D. Jaime A. Guzmán-Luna, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Mg. Julián Alberto Patiño, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Mg. Pablo Andrés Deossa, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Mg. Luis Eduardo Vahos, Universidad Nacional.

Mg. Alejandro Escobar Garcés, POS Software Engineer en Smart Business Technology.

Mg. María Isabel Marín Morales, Docente Ocasional Tecnológico de Antioquia – Consultor Junior Universidad Eafit.

Mg. Adriana Xiomara Reyes Gamboa, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

Mg. Juan José González España, Universidad Nacional de Colombia.

Mg. Gabriel Posada Hernández, Fundación Universitaria Luis Amigó, Colombia.

Mg. Carlos Durango Yepes, Fundación Universitaria Luis Amigó, Colombia.

Edición

Fundación Universitaria Luis Amigó

Solicitud de canje

Biblioteca Vicente Serer Vicens Fundación Universitaria Luis Amigó Medellín, Antioquia, Colombia

Para sus contribuciones

lampsakos@funlam.edu.co Facultad de Ingenierías. Fundación Universitaria Luis Amigó. Transversal 51A #67 B 90. Medellín, Antioquia, Colombia

ISSN: 2145-4086

No. 8, julio-diciembre de 2012

Fundada en 2009

Lámpsakos es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica o tecnológica de las áreas de las ingenierías. Su periodicidad es semestral con alcance nacional e internacional. Está destinada a estudiantes, investigadores, profesionales y personas interesadas en estos temas.

Los autores son moral y legalmente responsables del contenido de sus artículos, así como del respeto a los derechos de autor. Por lo tanto, éstos no comprometen en ningún sentido a la Fundación Universitaria Luis Amigó.

La reproducción de los artículos se registrará conforme a lo descrito en <http://creativecommons.org/>

CONTENIDO

Editorial. Publicar o no publicar he ahí el dilema.....	7
<i>Jorge Alberto Hernández Cerón</i>	
CB-SMoT+: una extensión al algoritmo CB-SMoT	9
<i>Francisco Moreno, Guillermo Orrego, Andrés Pineda</i>	
Modelado y simulación del problema de movilidad vehicular en un sistema de intersecciones semafóricas	15
<i>Paola A. Sánchez, Fernán Villa Garzón</i>	
Gplad: programación estructurada sobre dispositivos Android	23
<i>Luisa Fernanda Hernández Ramírez, Fabián Andrés Giraldo Giraldo, Jonathan Ray Cárdenas Castellón</i>	
Desarrollo de un modelo de reconocimiento y clasificación de rostro utilizando técnicas de inteligencia artificial (Lamda-Fuzzy)	33
<i>Oscar Eduardo Gualdrón Guerrero, Ivaldo Torres Chávez, Jorge Luis Díaz Rodríguez</i>	
Un enfoque para la creación de tareas robóticas auto-sanables basado en el paradigma de computación en la nube	41
<i>Byron Portilla-Rosero, Jaime Alberto Guzmán Luna</i>	
La gestión de indicadores empresariales con lógica difusa para la toma de decisiones	47
<i>Martín Darío Arango Serna, Conrado Augusto Serna Urán, Giovanni Pérez Ortega</i>	
Economía computacional basada en agentes ...	55
<i>Fabián A. Giraldo Giraldo, Jonatan Gómez Perdomo</i>	
La interceptación de datos informáticos entre la licitud y lo delictual	65
<i>Ana María Mesa Elneser, Jorge Eduardo Vásquez Santamaría</i>	

CONTENTS

Editorial. To publish or not to publish that is the question	7
<i>Jorge Alberto Hernández Cerón</i>	
CB-SMoT+: an extension to the CB-SMoT algorithm	9
<i>Francisco Moreno, Guillermo Orrego, Andrés Pineda</i>	
Modeling and simulation of vehicular mobility problem in a traffic lights system	15
<i>Paola A. Sánchez, Fernán Villa Garzón</i>	
Gplad: structure programming on Android devices	23
<i>Fabián Andrés Giraldo Giraldo, Jonathan Ray Cárdenas Castellón, Luisa Fernanda Hernández Ramírez</i>	
Development of a model of face recognition and classification using artificial intelligence techniques (Lamda-Fuzzy)	33
<i>Oscar Eduardo Gualdrón Guerrero, Ivaldo Torres Chávez, Jorge Luis Díaz Rodríguez</i>	
Approach to the creation of robotic task self-healing based on cloud computing paradigm	41
<i>Byron Portilla-Rosero, Jaime Alberto Guzmán Luna</i>	
Business management indicators with fuzzy logic to make decisions	47
<i>Martín Darío Arango Serna, Conrado Augusto Serna Urán, Giovanni Pérez Ortega</i>	
Agent-based computational economics	55
<i>Fabián A. Giraldo Giraldo, Jonatan Gómez Perdomo</i>	
Data interception records between lawfulness and delict	65
<i>Ana María Mesa Elneser, Jorge Eduardo Vásquez Santamaría</i>	

EDITORIAL

PUBLICAR O NO PUBLICAR HE AHÍ EL DILEMA... TO PUBLISH OR NOT TO PUBLISH THAT IS THE QUESTION ...

Jorge Alberto Hernández Cerón, PhD

*Decano Facultad de Ingenierías
Fundación Universitaria Luis Amigó*

La necesidad de estar informados, de saberlo todo y siempre ubicarnos en el estado del arte, nos enfrenta diariamente a nuevas fronteras. Esa curiosidad por lo que está sucediendo en nuestro entorno académico, investigativo o disciplinar nos obliga -conscientes o no- a investigar continuamente. Es algo que se vuelve parte de nuestra existencia, de nuestro ejercicio profesional y ¿por qué no? del querer trascender, rompiendo nuestros propios límites, identificando, capturando, adaptando, organizando, almacenando, aplicando y creando nuevos conocimientos, que si no se comunican no existen.

No basta con observar, investigar, conocer, ni aprender, hay que compartir, ¿con quién? con la comunidad científica, académica o con nuestros pares, que están ávidamente esperando esa producción intelectual que tenemos y que les permitirá aclarar y concretar muchas veces su misma producción, así como a nosotros mismos nos permitió hacerlo cuando los leímos.

Siempre tendremos una disculpa para escucharnos. Si dentro de nuestro proceso investigativo y siguiendo el método científico tomamos notas y registramos el acontecer de nuestra investigación, ahí tendremos

el insumo necesario para escribir sobre ella. Obvio, se requiere práctica y ésta hace al maestro.

Qué mejor que practicar constantemente haciendo borradores, tomando notas, elaborando resúmenes y sometidos al escrutinio de nuestros compañeros, amigos y colaboradores o mejor aún, a la certera observación de un editor cercano, quienes nos orientarán con comentarios adecuados que nos ayuden a mejorar nuestra redacción y a cumplir los objetivos de una publicación científica. De esta forma enriquecer nuestro currículo y afianzar las dotes investigativas que todos tenemos.

Estos preceptos aquí rápidamente enunciados, seguro nos permitirán el desarrollo de las capacidades de síntesis, análisis y resumen, para que todos podamos compartir con más facilidad los resultados de nuestras investigaciones. Así colegas, queda clara la invitación: ¡A escribir y a publicar!, y cuenten con nosotros colaborándoles en la revisión objetiva de esos textos escondidos y brillantes que tienen en sus mentes para publicarlos en nuestra revista.

Entonces los esperamos, a escribir y disfruten nuestra edición.

CB-SMoT+: UNA EXTENSIÓN AL ALGORITMO CB-SMoT

CB-SMoT+: AN EXTENSION TO THE CB-SMoT ALGORITHM

Ph.D. Francisco Moreno

*Universidad Nacional
Medellín, Colombia*

Est. Guillermo Orrego

*Universidad Nacional
Medellín, Colombia*

Est. Andrés Pineda

*Universidad Nacional
Medellín, Colombia*

(Recibido el 19/02/2012. Aprobado el 19/03/2012)

Resumen. Una trayectoria es un registro de la evolución de la posición de un objeto móvil. Por ejemplo, un vehículo que se mueve en el espacio durante un intervalo de tiempo. Una trayectoria se representa mediante una secuencia de observaciones que indican la posición y el tiempo en el que fue tomada cada observación. CB-SMoT es un algoritmo que identifica las partes de una trayectoria durante las cuales el objeto mantuvo una velocidad promedio por debajo de un límite dado. En este artículo se propone una extensión para dicho algoritmo que permite identificar las partes de una trayectoria durante las cuales el objeto mantuvo una velocidad promedio entre observaciones por debajo de un límite dado. Esto posibilita la identificación, por ejemplo, de violaciones a un límite de velocidad que no son advertidas por el algoritmo original. Para el estudio se usó el sistema de gestión de bases de datos PostgreSQL y los algoritmos se implementaron en su lenguaje de programación, llamado PL/pgSQL. Además, se hicieron experimentos con 100 trayectorias de vehículos con el propósito de mostrar la utilidad y la viabilidad de la propuesta.

Palabras clave: Algoritmo CB-SMoT; Movimiento; Objetos móviles; Trayectoria; Velocidad.

Abstract. A trajectory is the record of the evolution of the position of a moving object. For example, a vehicle which moves in a space during a period of time. A trajectory is represented by a sequence of observations that indicate the position and the time when an observation was taken. The CB-SMoT is an algorithm that identifies the parts of a trajectory during which the object had an average speed below a given threshold. In this paper we propose an extension to this algorithm in order to identify the parts of a trajectory during which the object had an average speed between observations below a given threshold. This allows the identification, for example, of violations of a speed limit that are not identified by the original algorithm. We used PostgreSQL as the database management system and the algorithms were developed in its programming language, called PL/pgSQL. In addition, we conducted a series of experiments with 100 vehicle trajectories in order to show the usefulness and feasibility of our proposal.

Keywords: CB-SMoT algorithm, movement, moving objects, trajectories, speed.

1. INTRODUCCIÓN

Gracias a los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) [1] y a los dispositivos móviles, es posible recopilar datos sobre la posición de objetos móviles como personas, animales y vehículos, entre otros, en un instante y durante un intervalo de tiempo. Esto ofrece una amplia gama de oportunidades para el desarrollo de aplicaciones, enfocadas en la gestión, en el análisis y en la extracción de conocimiento a partir de estos datos y en múltiples dominios.

Una trayectoria es un registro de la evolución de la posición (percibida como un punto), de un objeto que se mueve en el espacio, durante un intervalo de tiempo, con el fin de alcanzar un objetivo [2]. Una trayectoria se representa mediante una secuencia de observaciones $\langle \text{Obs}_1, \text{Obs}_2, \dots, \text{Obs}_n \rangle$, donde $\text{Obs}_i = (x_i, y_i, t_i)$, $x_i, y_i \in \mathbb{R}$, $t_i \in \mathbb{R}^+$ para $i = 0, 1, 2, \dots, n$ y $t_1 < t_2 < \dots < t_n$, donde x_i, y_i representan la posición del objeto y t_i el tiempo de la observación.

En [3] se propone el algoritmo SMoT (*Stops and Moves Of Trajectories*), que identifica las paradas, es decir, los sitios en los que el objeto móvil permaneció un tiempo superior a un límite establecido. En [4] se presenta una alternativa para el algoritmo SMoT denominada CB-SMoT (*Clustering-Based SMoT*) donde la identificación de las paradas (denominadas *clusters*) se basa en la velocidad del objeto. La consideración esencial del algoritmo CB-SMoT es que las partes de la trayectoria en las que la velocidad promedio fue baja (el analista de la aplicación establece un límite), corresponden a las paradas hechas por el objeto. Por ejemplo, considérese un turista que visita una ciudad; posiblemente su velocidad es baja cuando visita un museo o un restaurante. Otro ejemplo, es el de un vehículo que se encuentra en una zona de congestión de tráfico.

En este artículo se presenta un algoritmo llamado CB-SMoT+ que también se basa en la velocidad para identificar las paradas de un objeto. La diferencia con el algoritmo CB-SMoT es la siguiente: supóngase que el analista establece un límite máximo de velocidad igual a 80 km/h y que el algoritmo CB-SMoT identificó una parada de un objeto entre las 3:00 pm y las 4:00 pm y la velocidad promedio fue de 50 km/h. Nótese que por ser una velocidad promedio, el objeto pudo haber superado dicho límite en algún momento de ese intervalo. Sin embargo, el algoritmo CB-SMoT no detecta estos casos.

El nuevo algoritmo CB-SMoT+ procura garantizar que el límite no haya sido violado en ningún momento dentro del intervalo de tiempo de la parada. Esto permite analizar con mayor detalle el comportamiento de la velocidad del objeto. Por ejemplo, identificar violaciones a los límites de velocidad que pasan desapercibidas por

el algoritmo CB-SMoT. Además, el algoritmo propuesto también considera rangos de velocidad, aspecto no contemplado por el algoritmo CB-SMoT.

Esta propuesta puede ser útil en áreas como transporte, análisis y prevención de accidentes, deportes (carreras de autos, atletismo), y otras que estén relacionadas con el monitoreo de la velocidad con la que se mueven los objetos.

En cuanto a trabajos similares, en [5] se estudia la relación entre la velocidad, la densidad de vehículos en una vía y el flujo vehicular y la forma en la que dicha relación está influenciada por los controles de velocidad. Se analizan los límites de velocidad variables (VSL), es decir, diferentes límites de velocidad establecidos en cada tramo de una vía (los VSL son una estrategia usada comúnmente para mitigar la congestión vehicular). El objetivo es encontrar la relación que permita analizar y modelar de manera efectiva el flujo vehicular en ciertas circunstancias.

En [6] se evalúa la implementación de un sistema inteligente de transporte mediante la estrategia de VSL, para mejorar la seguridad en autopistas en las que se ha detectado que es alta la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito.

En [7] se investiga la relación entre los límites de velocidad, la velocidad a la que efectivamente se desplazan los vehículos y los accidentes de tránsito. Por ejemplo, el flujo vehicular a una velocidad alta posibilita la reducción de los tiempos de viaje; sin embargo, puede ocasionar un aumento en el número de accidentes de tránsito. El objetivo es establecer los límites de velocidad más adecuados de acuerdo con las circunstancias.

El artículo está organizado así: en la sección 2 se presenta un ejemplo motivador, en la sección 3 se propone el algoritmo CB-SMoT+, en la sección 4 se presentan algunos resultados experimentales con datos reales y en la sección 5 se concluye el artículo y se plantean trabajos futuros.

2. EJEMPLO MOTIVADOR

Supóngase que las autoridades de tránsito están interesadas en monitorear la velocidad de circulación de los vehículos en una ciudad. Se necesita identificar cuáles son los tramos de las vías en los que los vehículos transitan rápido o lento (i.e., superan o no un límite de velocidad establecido por las autoridades). Un tramo de una vía donde los vehículos transitan a una velocidad baja puede ser indicio de problemas como: automóviles que se estacionan en lugares no autorizados y obstruyen el flujo vehicular, daños o averías en la vía, exceso de controles (semáforos, re-

saltos), entre otros. Por otro lado, un tramo donde los vehículos transitan a una velocidad alta podría ayudar a identificar zonas de alta accidentalidad y que, por lo tanto, requieren controles adicionales.

El algoritmo CB-SMoT [4] identifica, a partir de la trayectoria de un objeto, e.g., un vehículo, las zonas (*clusters*) en las que el objeto mantuvo una Velocidad Promedio Total (VPT) por debajo de un límite establecido y el *cluster* abarcó un tiempo mínimo dado.

Considérese, por ejemplo, la trayectoria de un vehículo, como se muestra en la Fig. 1. La trayectoria se compone de 36 observaciones y en cada observación se registra la posición (x, y) y el tiempo en el que ocurrió. Por simplicidad, se supone que la velocidad del vehículo se mantuvo constante entre observación y observación (suposición de velocidad constante [8]). Al aplicar el algoritmo CB-SMoT, se identifican los *clusters* G1 (ver Tabla 2) y G2 (ver Tabla 3). Estos *clusters* corresponden a tramos donde la VPT del vehículo no

superó un límite dado (35 km/h) y el *cluster* abarcó un tiempo mínimo dado (40 minutos).

Sin embargo, nótese que aunque la VPT del vehículo durante el *cluster* G1 no superó el límite de velocidad, hubo ocasiones dentro del *cluster* en las que el vehículo *sí* superó dicho límite. Por ejemplo, la Velocidad Promedio entre las Observaciones (VPO) 6 y 7 fue 80,5 km/h y entre la 10 y la 11 fue 53,7 km/h. Por otro lado, en el *cluster* G2 la VPO no superó el límite de velocidad en ninguna ocasión.

Aunque el algoritmo CB-SMoT identifica *ambos clusters*, porque en ambos la VPT no superó el límite dado, interesa determinar solamente aquellos *clusters* donde la VPO no superó el límite (35 km/h), es decir, *clusters* como G2. Además, también puede ser de interés para las autoridades de tránsito determinar los *clusters* donde la VPO se mantuvo por encima de un límite o en un rango dado. Estos casos no son soportados por el algoritmo CB-SMoT.

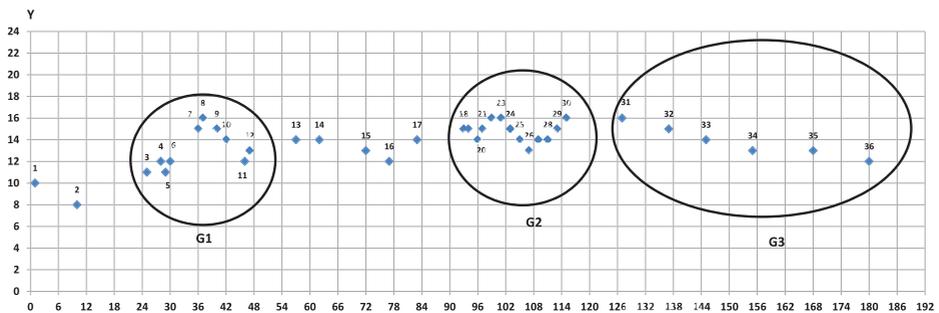


Fig. 1. Trayectoria

Tabla 1. Observaciones de G1

Obs.	x	y	t HH:MM	d(km) entre Obs. _{i-1} y Obs. _i	v(km/h) entre Obs. _{i-1} y Obs. _i
3	25	11	08:10		
4	28	12	08:15	3,2	37,9
5	29	11	08:20	1,4	17,0
6	30	12	08:25	1,4	17,0
7	36	15	08:30	6,7	80,5
8	37	16	08:35	1,4	17,0
9	40	15	08:40	3,2	37,9
10	42	14	08:45	2,2	26,8
11	46	12	08:50	4,5	53,7
12	47	13	08:55	1,4	17,0

Tabla 2. Observaciones de G2

Obs.	x	y	t HH:MM	d(km) entre Obs. _{i-1} y Obs. _i	v(km/h) entre Obs. _{i-1} y Obs. _i
18	93	15	09:25		
19	94	15	09:30	1,0	12,0
20	96	14	09:35	2,2	26,8
21	97	15	09:40	1,4	17,0
22	99	16	09:45	2,2	26,8
23	101	16	09:50	2,0	24,0
24	103	15	09:55	2,2	26,8
25	105	14	10:00	2,2	26,8
26	107	13	10:05	2,2	26,8
27	109	14	10:10	2,2	26,8
28	111	14	10:15	2,0	24,0
29	113	15	10:20	2,2	26,8
30	115	16	10:25	2,2	26,8

Tabla 3. Observaciones de G3

Obs.	x	y	t HH:MM	d(km) entre Obs _{i-1} y Obs _i	v(km/h) entre Obs _{i-1} y Obs _i
31	127	16	10:30		
32	137	15	10:35	10,0	120,6
33	145	14	10:40	8,1	96,7
34	155	13	10:45	10,0	120,6
35	168	13	10:50	13,0	156,0
36	180	12	10:55	12,0	144,5

3. ALGORITMO CB-SMoT+

3.1 Definiciones

Condición de velocidad entre observaciones (CVO): es una condición que especifica la velocidad entre las observaciones consecutivas de una trayectoria. Por ejemplo, $CVO = (\leq 80)$, indica que la velocidad máxima entre observaciones es 80 (e.g., km/h). $CVO = (\leq 30 \wedge \leq 80)$, indica que la velocidad entre observaciones debe ser mínimo 30 y máximo 80.

Neighbour_Obs: dada una trayectoria $t = \langle Obs_1, Obs_2, \dots, Obs_n \rangle$, el conjunto de observaciones vecinas de una observación Obs_i , denotado $Neighbour_Obs(i)$, está conformado por el mayor número

posible de observaciones de t cuya velocidad entre Obs_i y Obs_{i+1} para $j = i, i+1, \dots, k$ y $k < n$, satisface la CVO (ver Figura 2). Este conjunto de observaciones conforma un *cluster*.

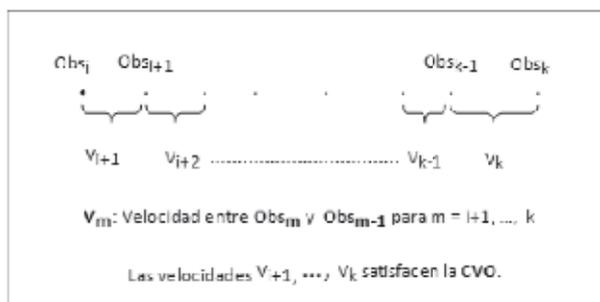


Fig. 2. Neighbour_Obs(i)

3.2 Algoritmo CB-SMoT+

A continuación se presenta el pseudo-código del algoritmo CB-SMoT+.

ALGORITMO CB-SMoT+

```

INPUT: T //Conjunto de trayectorias
           CVO //Condición de velocidad entre observaciones
OUTPUT: clusters //Conjunto de clusters que satisfacen la CVO
BEGIN
clusters = new clusters(); //Conjunto vacío de clusters
FOR each trajectory T ∈ T DO
  n = size(T); //Número de observaciones de T
  i = 1; //Variable para recorrer las observaciones de T
  WHILE (i < n) DO //Se recorre T desde su primera hasta su penúltima observación
    Neighbour_Obs = ∅; //Se inicializa el conjunto de observaciones del cluster
    Neighbour_Obs.add(T[i]); //Se agrega la observación actual (primera observación
del cluster)
    j = i; //Se guarda el número de la observación actual
    WHILE (CVO(T[i], T[i+1]) AND i < n) DO //Se verifica la CVO
      //Se agrega la observación i+1 al cluster
      Neighbour_Obs.add(T[i+1]);
      i = i + 1; //Número de la siguiente observación de T
    END WHILE
    IF (i <> j) THEN //Se valida que el cluster contenga al menos dos observaciones
      clusters.add(Neighbour_Obs, id(T)); //Se agrega el cluster junto
con el identificador de T
    END IF
    i = i+1; // Número de la siguiente observación de T
  END WHILE
END FOR
END
  
```

Por ejemplo, al aplicar el algoritmo a la trayectoria de la Figura 1, con $CVO = (> 95 \text{ km/h})$ se obtiene el *cluster* $G3 = \{Obs_{31}, Obs_{32}, Obs_{33}, Obs_{34}, Obs_{35}, Obs_{36}\}$.

4. EXPERIMENTOS

Para validar la propuesta se usaron datos de 100 trayectorias hechas por vehículos en Rio de Janeiro. Se usó el sistema de gestión de bases de datos PostgreSQL y los algoritmos se implementaron en su lenguaje de programación PL/pgSQL. En cada trayectoria las observaciones fueron tomadas en intervalos de un segundo. Las pruebas se hicieron con diferentes límites superiores de velocidad. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo CB-SMoT+.

Tabla 4. Resultados de los experimentos para el algoritmo CB-SMoT+

CVO Límite superior de velocidad (km/h)	Número de <i>clusters</i> identificados	Número de trayectorias	Tiempo promedio por <i>cluster</i> (h)	Número promedio de observaciones por <i>cluster</i>	Velocidad promedio por <i>cluster</i>
40	135	75	0,21	521	11,7
30	74	53	0,23	457	7,62
20	34	26	0,32	359	4,45
14	17	15	0,45	246	2,58
8	8	8	0,75	187	0,90

Nótese, por ejemplo, que a medida que el límite superior de velocidad disminuye, el número de *clusters* identificados también disminuye. Esto sugiere que la mayoría de los vehículos tuvieron periodos durante los cuales su velocidad promedio se mantuvo por encima de 30 km/h. De hecho, se detectaron 209 (135 + 74) *clusters*. Estos datos sugieren que cada vehículo tuvo en promedio dos *clusters* en los que su velocidad se mantuvo por encima de 30 km/h. Además, cada uno de estos *clusters* tuvo una duración promedio de 0,22 h, es decir, alrededor de 12 minutos.

Por otro lado, con un límite superior de velocidad de 8 km/h, se identificaron 8 *clusters* con un tiempo promedio de 40 minutos por *cluster*. Esto significa que hubo (a lo sumo) 8 vehículos que experimentaron periodos de tránsito lento (menor a 8 km/h) y cuya duración estuvo alrededor de 45 minutos (0,75 h). Esto sugiere posibles embotellamientos, zonas en las que por algún motivo no se debe superar dicho límite (una zona escolar o militar) o el conductor transitó lentamente. En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos cuando se aplicó el algoritmo CB-SMoT.

Tabla 5. Resultados de los experimentos para el algoritmo CB-SMoT

CVO Límite superior de velocidad (km/h)	Número de <i>clusters</i> identificados CB-SMoT	Tiempo promedio por <i>cluster</i> (h)
40	90	0,31
30	53	0,26
20	21	0,24
14	7	0,22
8	2	0,19

Nótese que el algoritmo CB-SMoT detectó menos *clusters* que el CB-SMoT+ pero el tiempo promedio de cada *cluster* fue mayor. Esto es razonable porque el algoritmo CB-SMoT permite que haya violaciones al límite superior de velocidad, siempre y cuando la velocidad promedio del *cluster* no supere dicho límite. Por ello, se generan menos *clusters* pero de mayor duración y en los que no se alcanza a percibir si hubo violaciones al límite de velocidad establecido.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se propuso una extensión para el algoritmo CB-SMoT. El nuevo algoritmo, llamado CB-SMoT+, permite analizar con mayor detalle (identificación de violaciones de límites) el comportamiento de un objeto móvil con respecto a su velocidad. La diferencia esencial entre los dos algoritmos es que el algoritmo CB-SMoT considera la velocidad promedio total (VPT) para la identificación de los *clusters* mientras que el algoritmo CB-SMoT+ considera la velocidad promedio entre observaciones (VPO).

Aunque se requieren experimentos más exhaustivos, los resultados mostraron la viabilidad de la propuesta y evidenciaron la diferencia entre los dos algoritmos y su utilidad ya que permiten identificar, por ejemplo, las zonas donde se presenta tráfico lento o rápido (con respecto a un límite de velocidad establecido).

Como trabajo futuro se espera extender el algoritmo para la identificación de *clusters* con más condiciones además de la CVO. Por ejemplo, identificar solamente los *clusters* que tienen una duración mínima o que recorrieron una distancia mínima o que pasaron por o cerca de determinados sitios o vías. También se pretende comparar el algoritmo propuesto con otros algoritmos de generación de *clusters*, por ejemplo, DBSCAN [9].

REFERENCIAS

- [1] P. A. Longley, M Goodchild, D. J. Maguire & D. W. Rhind. "Geographic Information Systems and Science". 560, p. 2010.
- [2] S. Spaccapietra, C. Parent, M. Damiani, J. Macedo, F. Porto & C. Vangenot. "A conceptual view on trajectories". *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 65, No. 1, pp. 126-146, Abr. 2008.
- [3] L. O. Alvares, V Bogorny, B Kuijpers, J. Macedo, B. Moelans & A. Vaisman. "A model for enriching trajectories with semantic geographical information". In *Proc. 2007 15th Annual ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, Nueva York, pp. 1-22.
- [4] A. Palma, V. Bogorny, B. Kuijpers & L. Alvares. "A Clustering-based Approach for Discovering interesting Places in Trajectories". In *Proc. 2008 ACM symposium on Applied computing*, Nueva York, USA, pp. 863-868.
- [5] B. G. Heydecker & J. D Addison. "Analysis and modelling of traffic flow under variable speed limits". *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 19, No. 2, pp. 206-217, Abr. 2011.
- [6] M. Abdel-Aty, J. Dilmore & A. Dhindsa. "Evaluation of variable speed limits for real-time freeway safety improvement". *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 38, No. 22, pp. 335-345, Mar. 2006.
- [7] A. A. M. Aljanahi, A. H. Rhodes. A. V. Metcalfe. "Speed limits and road traffic accidents under free flow conditions". *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 31, No. 1, pp. 161-168, Ene. 1999.
- [8] R. H. Güting & M. Schneider. "Moving objects databases". Morgan Kaufmann: San Francisco. 2005.
- [9] M. Ester, H. -P. Kriegel, J. Sander & X. Xu. "A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise". In *Proc. 1996 Second Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Portland, Oregon, USA, pp. 226-231.

MODELADO Y SIMULACIÓN DEL PROBLEMA DE MOVILIDAD VEHICULAR EN UN SISTEMA DE INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS

MODELING AND SIMULATION OF VEHICULAR MOBILITY PROBLEM IN A TRAFFIC LIGHTS SYSTEM

Ph.D. Paola A. Sánchez

*Universidad Simón Bolívar
Barranquilla, Colombia*

MsC Fernán Villa Garzón

*Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia*

(Recibido el 21/02/2012. Aprobado el 19/03/2012)

Resumen. En el contexto global se percibe un aumento del parque automotor. Fenómeno que, entre otros requerimientos, demanda sistemas de tráfico eficientes que respondan al volumen de vehículos que hacen uso de las vías y garanticen una adecuada movilidad. No obstante, esta visión no se corresponde con lo que sucede actualmente en las vías de las medianas y grandes ciudades que presentan problemas complejos de movilidad. El mayor impacto de las reducciones en la movilidad se encuentra en las congestiones de tráfico en sistemas de intersecciones semaforizadas. En este artículo se modela un sistema de semáforos en Medellín y se simulan, como solución, diferentes distribuciones en los tiempos de los semáforos. Los resultados encontrados con la simulación mejoran el comportamiento real y permiten sugerir políticas para el control de tráfico en la ciudad, de acuerdo con el número de vehículos.

Palabras clave: Simulación; Movilidad vehicular; Semáforos; Congestión; Control de tráfico.

Abstract. Globally is seen a dramatic increase in the vehicle numbers, this requires efficient traffic systems as response to the volume of vehicles that use the roads and as an action that ensures adequate mobility. However, medium and large cities presents complex problems of mobility. The greatest impact of the reductions in mobility is due to traffic congestion in signalized intersections systems. This paper models a traffic lights system in Medellín and are simulate different distributions in the times of traffic lights, as solutions. The simulation results improves the actual behavior, allowing suggest different policies to control traffic in the city, related with the number of vehicles passing by the routes.

Keywords: simulation; vehicular mobility, traffic lights, congestion.

1. INTRODUCCIÓN

La más reciente encuesta sobre origen y destino de hogares 2012, realizada por el Área Metropolitana, el Municipio de Medellín y la Universidad Nacional, revela que la movilidad en la ciudad de Medellín y el Área Metropolitana se ha intensificado, que se ha aumentado el número de personas que se movilizan, el número de viajes que se realizan y los vehículos que transitan diariamente [1]. El flujo vehicular que se concentra en ciertos sectores y la falta de cultura sobre el no uso del carro particular hace que las medidas tomadas no tengan el efecto esperado.

De acuerdo con la Secretaría de Tránsito y Transporte de Medellín, cerca de 20.000 nuevos automotores entraron en funcionamiento en los últimos tres años y pocos salieron del sistema. Un ritmo de crecimiento que no permite avizorar soluciones inmediatas para la movilidad.

Los entes gubernamentales han propuesto medidas para mejorar la movilidad en Medellín como el “Pico y placa sectorizado”, obras de ampliación de carriles en vías principales, localización de nuevos sistemas de semáforos, etc., sin embargo, no han sido soluciones para las congestiones de tráfico, toda vez que el ritmo de crecimiento del parque automotor es mayor que las soluciones que se dan para la estructura vial; esto provoca también que, en ocasiones, las soluciones que se dan para un punto en la ciudad trasladen los problemas a otros puntos que no los tenían.

Si bien los problemas de movilidad vehicular se presentan en múltiples ámbitos, éstos son más evidentes en vías con sistemas de semáforos en los que el tránsito debe interrumpirse en un lado para dar paso a la circulación del otro lado. Los pasos son mediados por semáforos de acuerdo con tiempos de secuencias fijados en su programación.

La programación actual de los tiempos de los semáforos produce constantes represamientos, tanto en las intersecciones como en las vías que son sumidero¹ de éstas, que, además, representa una reducción de la movilidad.

En la ciudad de Medellín se cuenta con semáforos inteligentes que permiten adaptarse a las condiciones cambiantes del tráfico, pero dicha adaptación no

¹ En este trabajo se usa extensivamente la palabra sumidero para referirse a las vías en las que se represan flujos provenientes de fuentes con semáforos.

es inmediata, sino que depende de una optimización que se realiza después de evaluar la información vehicular recogida.

El propósito del estudio es analizar el comportamiento de un sistema de intercepción con nueve semáforos de vehículos, dos semáforos peatonales y seis vías con sumideros, y evaluar de qué manera se deben controlar los tiempos de semaforización en las intersecciones, de acuerdo con la hora del día, para mejorar la movilidad. El sistema corresponde a la intercepción vial de la Avenida Oriental (Carrera 46) y la Calle 49 Ayacucho.

El uso de simulación en sistemas de movilidad permite estudiar el comportamiento de los problemas actuales y probar escenarios factibles de solución [2]; así mismo, permite evaluar políticas que conduzcan a mejorar el desempeño del sistema existente [3], [4], [5], [6], [7].

En Colombia se han hecho estudios acerca de la movilidad [8], pero son escasos los trabajos que utilizan modelos de simulación para evaluar su comportamiento [9].

Lo que sigue de este artículo está distribuido en cuatro secciones: en la segunda parte se describe el problema de movilidad vehicular que se va a atacar, posteriormente, en la sección Metodología se presenta el protocolo que se ha de seguir en la representación y simulación del problema; en la sección Resultados se comparan los valores obtenidos con los escenarios de solución propuestos y el sistema actual; finalmente, en la última sección, se presentan las conclusiones del estudio y los problemas abiertos para futuros trabajos.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Tal como se expone en [10] la movilidad es una condición inherente del desarrollo urbano de las ciudades; movilizarse significa trasladarse de un lado para otro, en el caso vehicular, con el uso de automotores. En la ciudad la movilidad se hace a través de las vías, no obstante, la procedencia de los problemas de movilidad son físicos, estructurales y culturales.

Algunas causas del problema de movilidad son:

- Incremento constante del parque automotor en la ciudad: existe una relación directa entre el número de vehículos en circulación y la reducción en la movilidad.

- Estacionamiento de vehículos, en especial de buses, sobre las vías: los paraderos de buses, autorizados o no, interfieren el flujo normal de vehículos porque limitan los carriles disponibles para la circulación.
- Bloqueo de intersecciones: este problema se presenta cuando, tras el cambio de un semáforo, los automotores en tránsito no alcanzan a seguir su marcha y se quedan atascados en la vía. (Ver Figura 1).

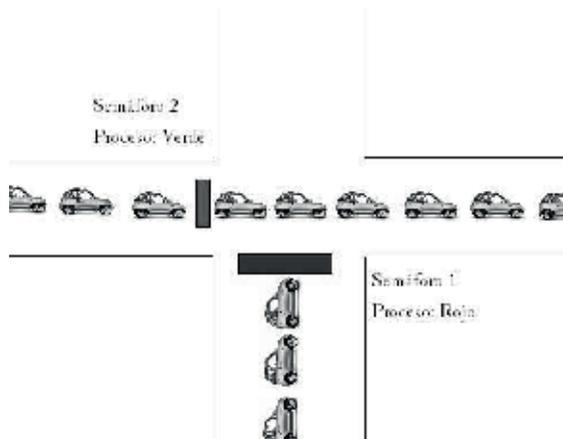


Fig. 1. Bloqueo de intersección, instante 1

Los que tenían la vía anteriormente (Semáforo 2 en Figura 1), bloquean el paso de quienes pasan a obtener la luz verde. (Ver Figura 2).

Este problema puede hacer que se pierda un ciclo completo de semáforo y entorpece la circulación.

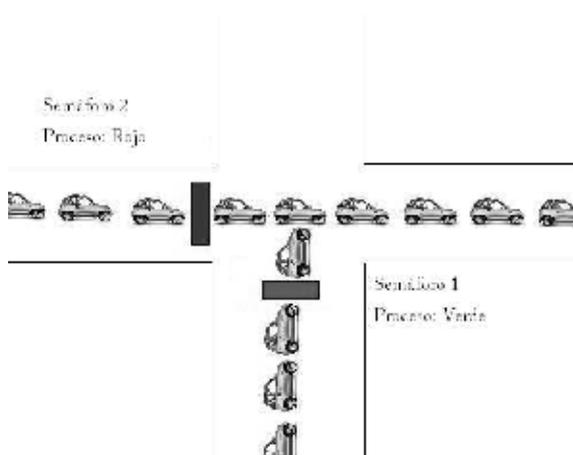


Fig. 2. Bloqueo de intersección, instante 2

§ Falta de cultura ciudadana: se refleja en varios ámbitos como uso innecesario de vehículos particulares, irrespeto en las normas de movilidad, carencia de una visión holística de las causas de las acciones individuales.

El sistema que se propone se concentra en el “bloqueo de intersecciones”, ya que las demás causas son factores incontrolables, de difícil cuantificación y se consideran no influyentes para efectos de este estudio.

Un análisis del caso real evidencia que cuando hay gran afluencia de vehículos (número alto de vehículos en circulación), las intersecciones se bloquean, toda vez que los sumideros se llenan y no alcanzan a evacuarse totalmente antes del cambio de semáforo. La hipótesis es que este fenómeno ocurre por el tiempo y por la secuencia de cambio de los semáforos.

Los semáforos de la intersección cambian de estado de a dos a la vez, es decir, se permite el paso en sentido norte-sur u oriente-occidente y los semáforos de las fuentes permiten el paso cuando el semáforo del sumidero se encuentra en rojo. (Ver en la Figura 3 el esquema del sistema real). Segundos después, los semáforos de la intersección cambian a verde. Los bloqueos se producen cuando los tiempos de programación de los semáforos no son suficientes para abastecer el tránsito de una cantidad adecuada de vehículos y evacuarlos en su totalidad antes de que la intersección sea invadida; aún más: no evacúa un sumidero lleno antes de permitir el acceso de más vehículos.

En la representación del problema, por simplicidad y para facilitar la comprensión del fenómeno, se omitirán algunas características del sistema real, tales como el tamaño y tipo de los vehículos, los peatones, etc., aunque se incluyeron tiempos diferenciales tanto en el paso de vehículos como en los cambios de los semáforos para representar tales fenómenos.

3. METODOLOGÍA

Para la representación del sistema actual y la posterior simulación de escenarios de solución se lleva a cabo un protocolo que consta de las siguientes etapas:

- Identificación del sistema real
- Toma y procesamiento de datos
- Implementación del modelo del sistema actual
- Implementación de escenarios de solución
- Análisis de resultados

A continuación se aborda cada una de las etapas del protocolo.

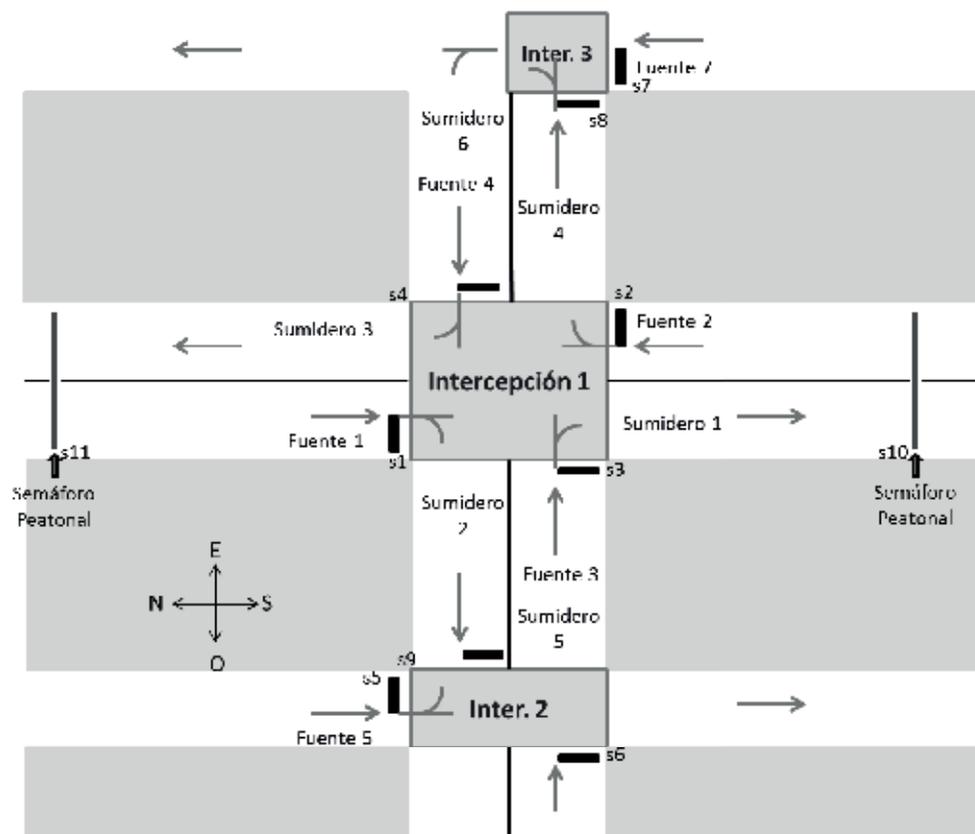


Fig. 3. Representación del sistema real

A. Identificación del sistema real

En la Figura 3 se esquematiza el sistema real que se analiza en este trabajo. La intercepción semafórica cuenta con ocho semáforos, seis fuentes de abastecimientos de vehículos que se represan en cuatro sumideros y dos semáforos peatonales.

Como se enfatizó anteriormente, los semáforos cambian de a dos a la vez, según corresponda a calles (sentido oriente-occidente, y viceversa) o carreras (sentido norte sur y viceversa). Las distribuciones de los semáforos son: dos en dirección norte sur, dos en dirección sur-norte, dos en dirección oriente-occidente, tres en dirección occidente-oriente, adicionalmente la carrera tiene dos semáforos peatonales, 1 en la dirección norte-sur, y otro sur-norte; en cada una de las orientaciones mencionadas hay un sumidero.

B. Toma y procesamiento de datos

Para la ejecución del estudio, la recolección de datos se realizó manualmente en tres momentos del día: 9:00am, 2:00pm, 6:00pm. Los datos medidos corresponden a:

- Tiempo de cada semáforo en cada estado.
- Número de vehículos que transitan en estado "verde".

Después de esta medición, se realizó un procesamiento para obtener estadísticos adecuados para la implementación.

De los datos recolectados, se calcula el promedio de vehículos que transitan en estado "verde" \bar{x} para trabajar con un aproximado válido en cada uno de los momentos del día. (Ver la Tabla 1). Así como diferentes tasas.

- Tasa de vehículos en circulación: 60% a las 9:00am, 85% a las 2:00pm, 120% a las 6:00pm.

Se tiene en cuenta la siguiente premisa: los semáforos que se comportan igual en su programación son: S1 = S2, S3 = S4, S8 = S9, S10 = S11 (Semáforos peatonales).

Tabla 1. Datos medidos y calculados del sistema real (seg)

	Tiempo verde 9 am, 2 pm, 6 pm	Tiempo rojo	\bar{x}
S1	60, 52,52	30, 49,49	60,100,80
S2	60,52,52	30,49,49	60,83,69
S3	30,26,26	60,70,70	30,40,35
S4	30,30,30	60,70,70	30,28,22
S5	30,52,52	60,43,43	30,8,7
S6	30,26,26	60,70,70	30,22,22
S7	45,52,52	45,43,43	45,37,29
S8	45,30,30	45,70,70	45,25,20
S9	60,26,26	30,70,70	60,16,15
S10	40,52,52	20,35,35	85,76,70
S11	40,52,52	20,35,35	67,62,57

C. Implementación del modelo del sistema actual

El sistema en estudio para el problema de movilidad en la ciudad de Medellín se enfoca en la intercepción de la Av. Oriental, con la Calle Ayacucho, y se extiende hasta sus respectivas fuentes y sumideros.

El modelado y simulación del sistema se hizo mediante la simulación basada en agentes, se usó la herramienta Agentsheets®. En la Figura 4 se ilustra el modelo del sistema real, y en la Figura 5 una ejecución típica.

Los agentes identificados en la implementación son:

- Vehículos: agentes que se desplazan a través de las calles
- Tres tipos de semáforos: horizontales, verticales y los peatonales
- Entradas: lugar por el que ingresan los vehículos al sistema
- Salidas: lugar por donde salen los vehículos del sistema
- Calles: lugar por donde pueden circular los vehículos
- Intercepciones: áreas comunes de diversas vías
- Indicadores de decisión: permiten cambiar la dirección de los vehículos

Si bien se conservaron los parámetros reales medidos en la configuración de simulación, se adicionaron elementos que permiten cambios en la cantidad de vehículos que ingresan al sistema, la probabilidad de cambiar de dirección, el tiempo de duración de los semáforos y el orden de cambio de cada uno.

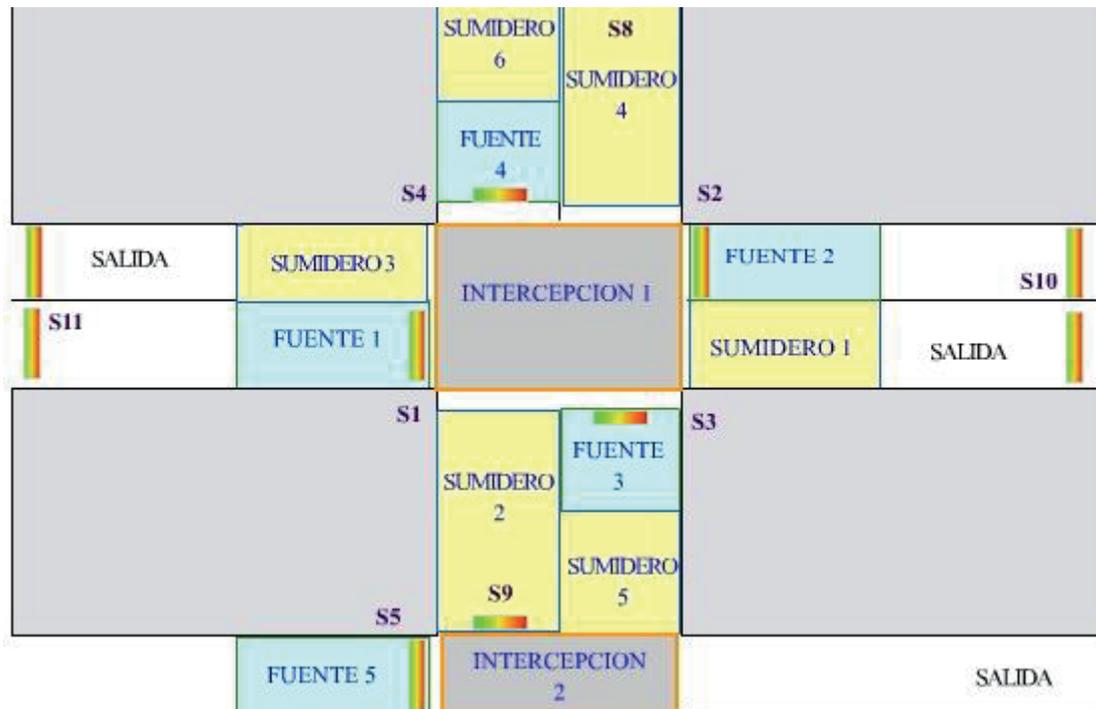


Fig. 4. Modelo del sistema real

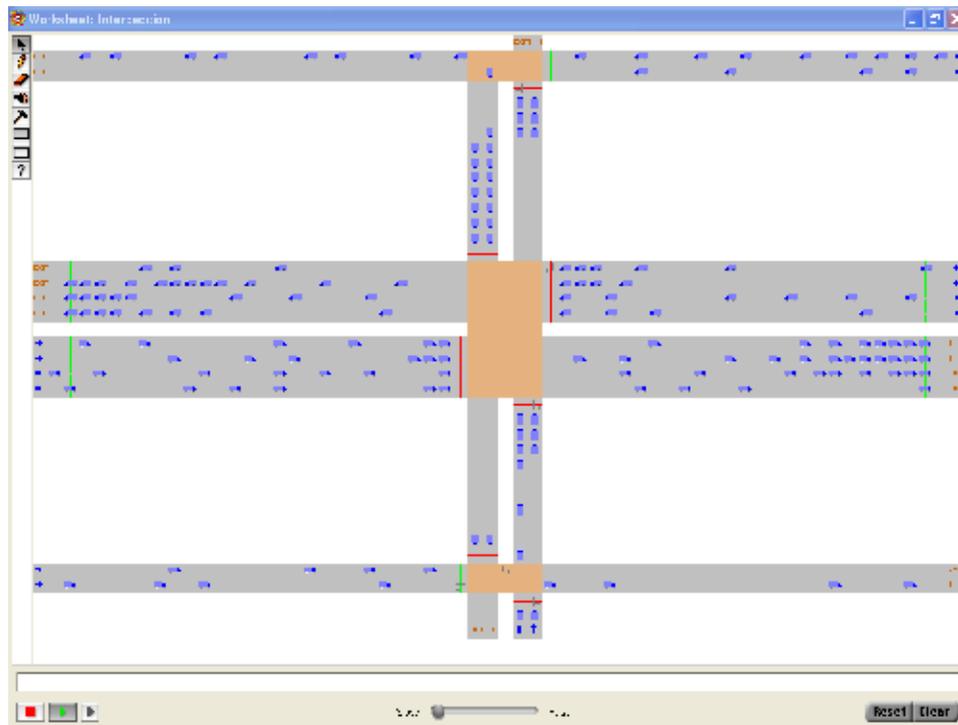


Fig. 5. Modelo del sistema real en ejecución

El sistema real simulado se configuró de tal forma que permita la representación del comportamiento real de los agentes, incluidas las dificultades de movilidad. En los resultados se analizará dicho comportamiento y se contrastará con diferentes escenarios de solución.

Las variables de la simulación están parametrizadas para que sea sencillo adaptar el sistema a cualquier situación.

D. Implementación de escenarios de solución

Basados en el análisis del sistema real, se pudo evidenciar que bloqueos en las intercepciones señaladas en la Figura 3, son los que generan reducciones en la movilidad; tal comportamiento se manifiesta, especialmente, en los sumideros dos, cuatro y cinco. Según lo anterior, como escenarios de solución del problema de movilidad se propone evaluar combinaciones en los tiempos de cambio de los semáforos de las fuentes y sumideros que suplen las intercepciones mencionadas, de manera que se evite la acumulación de vehículos en tales puntos; específicamente, se intervendrán los tiempos de los semáforos seis, ocho y nueve.

Las medidas de solución para evaluar son:

- Incrementar los tiempos del cambio al estado rojo de los semáforos seis, ocho y nueve, respectivamente (incremento de tiempo en estado “verde”).
- Incremento de tiempos en estado “verde” seguido de una disminución de tiempo en estado “rojo” en los semáforos seis, ocho y nueve, respectivamente.

E. Análisis de resultados

En esta etapa se hace una comparación de los resultados numéricos obtenidos con la simulación del sistema real y los dos escenarios de solución propuestos.

La comparación de los resultados se hace en términos de la tasa de vehículos en circulación y el promedio de vehículos que logran pasar en estado “verde”.

4. RESULTADOS

En esta sección se evaluará el comportamiento del modelo real vs los escenarios de solución propuestos.

Una evaluación inicial del modelo del sistema real evidencia que al cabo de algunos ciclos en el cambio de los semáforos se producen bloqueos en las intersecciones, especialmente, en la dos y tres, respectivamente, y luego se extiende a la intersección uno.

En este artículo se trabaja la hipótesis de que cuando el número de automóviles en tránsito comienza a aumentar, el tiempo y las secuencias de los semáforos no son suficientes para evacuar los autos que se encuentran en cada uno, se bloquean los sumideros y las intersecciones.

Los escenarios evaluados de solución al problema buscan evitar las congestiones en los sumideros que provocan bloqueos en las intersecciones dos y tres a través de la intervención en los tiempos de los semáforos 6, 8 y 9 que suplen dichas intersecciones.

El primer escenario de solución consiste en incrementar el tiempo en estado "verde" de los semáforos 6, 8 y 9 en 5 segundos. Cabe aclarar que se probaron incrementos diferentes mayores y menores que el valor presentado, pero no se consideró relevante incluirlos.

Para la evaluación de los cambios propuestos se probaron separadamente simulaciones del comportamiento a las 9:00 am, 2:00 pm y 6:00 pm. Para cada horario se calculó el número promedio de vehículos que transitaban en estado "verde" por los semáforos 6, 8 y 9, y el porcentaje de vehículos no evacuados, tanto para el modelo del estado actual como para el escenario de solución 1. Estos datos son presentados en la Tabla 2, en la que \bar{x} es el promedio de vehículos que transitan en estado "verde" y $ne\%$ es el porcentaje de vehículos no evacuados.

Tabla 2. \bar{x} y $ne\%$ para el modelo del sistema actual vs escenario de solución 1 en horario 9 am, 2 pm, 6 pm

	\bar{x} (actual) 9 am, 2 pm, 6 pm	$ne\%$ (actual)	\bar{x} (S1)	$ne\%$ (S1)
S6	30,22,22	16,27,41	38, 24,25	8,12,16
S8	45,25,20	24,35,59	53,29,32	16,21,29
S9	60,16,15	21,28,36	66,20,22	12,15,14

Los resultados arrojados por el primer escenario de solución son satisfactorios porque permiten disminuir el porcentaje de vehículos no evacuados, además de un tránsito mayor de vehículos en estado "verde" por las vías que alimentan.

Con el escenario de solución 1, salvo pocas ocasiones en la intervención 3, no se presenta el fenómeno de bloqueo en las intersecciones, lo que quiere decir que esta solución permite una evacuación adecuada de los sumideros, antes del cambio de estado de los semáforos.

Si bien los resultados del escenario 1 muestran un comportamiento favorable en cuanto al problema principal del bloqueo de las intersecciones, manifiesta un problema adicional y es que tras el cambio de estado de los semáforos 6, 8 y 9 a rojo, la espera del semáforo se hace muy larga para el número de vehículos que están en espera. Una solución para este inconveniente es presentada en el escenario 2, en el que se combina la solución anterior con una disminución de cinco segundos en el estado "rojo" de los semáforos 6, 8 y 9. Los resultados de la simulación del escenario de solución 2 se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. $ne\%$ para el modelo del sistema actual vs escenario de solución 2 en horario 9 am, 2 pm, 6 pm

	$ne\%$ (actual) 9 am, 2 pm, 6 pm	$ne\%$ (S2)
S6	16,27,41	7,12,12
S8	24,35,59	11,21,23
S9	21,28,36	8,14,13

Un análisis de los resultados presentados en la Tabla 3, muestra mejoras en la solución respecto al sistema actual en el porcentaje de vehículos que no se alcanza a evacuar, se disminuyen notablemente los valores, especialmente, en el semáforo 8 y se alcanzan mejoras superiores al 50%. El escenario de solución 2 permite movilizar un mayor número de vehículos en comparación con el modelo actual y evita, en todos los casos, los bloqueos a las intersecciones.

Finalmente, una comparación de los escenarios 1 y 2, evidenciada en los resultados presentados en las tablas 2 y 3, demuestra que el escenario de solución 2 ofrece mejoras respecto al escenario 1, toda vez que reduce el porcentaje de vehículos no evacuados. Además, el escenario 2 permite solventar totalmente el problema de bloqueo de las intersecciones. Por lo tanto, se considera el escenario 2 como mejor solución para el problema planteado.

Un análisis adicional que se realizó para incrementar el número de vehículos que transitan por el sistema mostró que la solución del escenario 2 es válida, in-

cluso hasta un incremento en un 25% en el número de vehículos. Los resultados de este análisis no se presentan puesto que se consideran fuera del alcance del trabajo.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado la representación y simulación de un proceso de intersecciones semaforizadas en el centro de Medellín, las cuales ofrecen problemas de reducción de la movilidad vehicular porque generan bloqueos. La motivación del trabajo fue identificar las falencias en los procesos actuales y proponer escenarios de solución para solventar los problemas de movilidad.

El análisis del sistema actual evidencia bloqueos en todas las intersecciones, los cuales se generan porque con la programación actual de los semáforos no se alcanza a evacuar la totalidad de los vehículos represados en los sumideros en el cambio de estado y éstos producen bloqueos en las intersecciones, los cuales se expanden por todo el sistema.

Se evaluaron dos soluciones orientadas a intervenir los tiempos de los semáforos 6, 8 y 9, los cuales representan mayor influencia en las intersecciones. En el primer escenario, se aumentó el tiempo en estado “verde”, y en el segundo se retomó el primer escenario y adicionalmente se disminuyó el tiempo en estado “rojo”. Los resultados exhibidos por ambos escenarios son altamente satisfactorios, toda vez que permiten aumentar el número de vehículos en circulación, disminuir el porcentaje de vehículos no evacuados y evitar totalmente los bloqueos en todas las intersecciones del sistema.

Los resultados obtenidos dejan entrever que las intervenciones en los procesos actuales pueden generar resultados beneficiosos en la movilidad de la ciudad. Estudios futuros son incluir en la simulación otro tipo de vehículos como motos, buses y camiones.

6. REFERENCIAS

- [1] A. M. d. V. d. Aburrá, «Área Digital,» 16 de agosto 2012. [En línea]. Available: <http://www.aredigital.gov.co/Documents/EOD%20Medellin%20150812.pdf>. [Último acceso: 10 Octubre 2012].
- [2] A. D’Ambrogio, G. Lazeolla, L. Pasini y A. Pieroni, «Simulation model building of traffic intersections,» *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 17, pp. 625-640, 2009.
- [3] M. Wegener, «The future of mobility in cities: Challenges for urban modelling,» *Transport Policy*, p. in press, 2012.
- [4] F. Basile, P. Chiacchio y D. Teta, «A hybrid model for real time simulation of urban traffic,» *Control Engineering Practice*, vol. 20, pp. 123-137, 2012.
- [5] J. Vasic y H. Ruskin, «Cellular automata simulation of traffic including cars and bicycles,» *Physica A*, vol. 391, pp. 2720-2729, 2012.
- [6] J. Guerrero, P. Damián, C. Flores y P. Llamas, «Plataforma para Gestión de la Red de Semáforos de Zonas Urbanas,» *Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática*, vol. 7, n° 1, pp. 12-18, 2010.
- [7] J. Taplin, «Simulation Models of Traffic Flow,» de *The 34th Annual Conference of the Operational Research Society of New Zealand*, New Zealand, 1999.
- [8] C. Dangond, J. Jolly, A. Monteoliva y F. Rojas, «Algunas reflexiones sobre la movilidad urbana en Colombia desde la perspectiva del desarrollo humano,» *Papel Político*, vol. 16, n° 2, pp. 485-514, 2011.
- [9] D. Robles, P. Ñañez y N. Quijano, «Control y simulación de tráfico urbano en Colombia: Estado del Arte,» *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes*, pp. 59-69, 2009.
- [10] C. A. d. Fomento, desarrollo urbano y movilidad en América Latina, http://omu.caf.com/media/30839/desarrollourbano_y_movilidad_americalatina.pdf ed., Panamá: CAF, 2011.

GPLAD: PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA SOBRE DISPOSITIVOS ANDROID

GPLAD: STRUCTURE PROGRAMMING ON ANDROID DEVICES

**Luisa Fernanda Hernández
Ramírez**

*Fundación Universitaria San Martín.
Bogotá, Colombia*

**Fabián Andrés
Giraldo Giraldo**

*MSc (C) Fundación Universitaria
San Martín.
Bogotá, Colombia.*

**Jonathan Ray
Cárdenas Castellón**

*Fundación Universitaria San Martín.
Bogotá, Colombia.*

(Recibido el 17/02/2012. Aprobado el 19/03/2012)

Resumen. La programación por medio de bloques es un enfoque visual que permite a las personas jóvenes adquirir interés en el desarrollo de software. Así lo han demostrado herramientas para computadores como Scratch, StarLogo y Alice. Hoy en día hay estudiantes e ingenieros programadores que desean implementar soluciones más estructuradas y hay pocas herramientas que, a través de programación gráfica ofrezcan la posibilidad de solucionar problemas que se manejen en primeros semestres universitarios. Por otro lado, los dispositivos móviles, en especial los que poseen sistema operativo Android, han tenido acogida en los últimos años, además, son utilizados para resolver problemas en tiempo real. El objetivo de este trabajo fue demostrar la utilidad de una aplicación que soporta la programación estructurada por medio de bloques sobre dispositivos Android, que facilita la creación y ejecución de código en el lenguaje Java sobre un servidor remoto. Se realizó un análisis para determinar el ambiente de programación, la creación de bloques con su representación intermedia y las validaciones para la generación de código, además, se realizaron pruebas a través de la formulación de problemas matemáticos que se enseñan durante los primeros cursos de Ingeniería de sistemas en la Fundación Universitaria San Martín. Finalmente, se obtuvo el código Java de la solución a cada problema planteado dentro de Gplad.

Palabras clave: Programación por bloques; Lenguajes; Traductor.

Abstract. Programming through blocks is a visual approach that allows young people to acquire interest in the development of software. This has been demonstrated by computer tools such as Scratch, StarLogo and Alice. Today students and engineers are programmers who want to implement structured solutions and there are few tools that, through graphical programming offer the possibility of solving problems that are handled in first universities semesters. Furthermore, mobile devices, especially those with Android operating system, have been well received in recent years, moreover, are used to solve problems in real time. The aim of this work was to demonstrate the utility of an application that supports structured programming through blocks on Android devices, facilitating the creation and execution of code in the Java language on a remote server. Analysis was performed to determine the programming environment, building blocks with intermediate representation and validations for code generation also were tested through the formulation of mathematical problems that are taught during the first courses in engineering systems in the San Martin University Foundation. Lastly, Java code was obtained from the solution to every problem presented within Gplad.

Keywords: Block programming; Languages; Translator.

1. INTRODUCCIÓN

Según la revista *BBC Mundo* [1]: “Del mismo modo que en su día el latín sirvió a los romanos para unificar culturas, comerciar y conectar a las gentes de su vasto imperio, la programación es hoy el lenguaje universal que nos permite conectar con el imperio de la tecnología”, por lo tanto, se ha logrado despertar interés por parte de las personas que no poseen conocimiento en el ámbito de la programación.

Pero mantener el interés es tan solo un primer paso, pues su pérdida es común en el área de la Ingeniería de Sistemas, como lo demuestra un estudio realizado en la Universidad Monmouth de Estados Unidos, en el que, entre los años 2000 al 2005, un 70% de los estudiantes de Ciencias de la computación migraba hacia otras carreras [2]. Una de las principales razones para que esto ocurra está en lo complejo que puede ser la tarea de aprender a programar para personas de todas las edades. Los programadores novatos tienen que aprender a estructurar soluciones y entender cómo es ejecutado cada programa, además de una sintaxis rígida y comandos que parecen, inicialmente, como arbitrarios [3].

Para evitar que las personas novatas pierdan interés por causa de lo difícil que puede ser aprender a programar y el tiempo que esto toma, se sugiere la programación gráfica o visual que se da de dos maneras: lenguaje basado en nodos y lenguaje basado en bloques que permiten crear aplicaciones que producen una mínima cantidad de errores de sintaxis y compilación en comparación con la programación convencional, es decir, la programación basada en comandos de texto. Esta programación visual es útil para prácticas académicas con estudiantes desde tempranas edades puesto que los incentiva para programar de tal manera que se enfoquen en la lógica y a mejorar sus habilidades cognitivas y creativas [4].

La programación visual es un enfoque para la integración de varios bloques y la implementación de aplicaciones en un corto período de tiempo, sin las habilidades necesarias en la codificación textual, lo que genera una mínima cantidad de errores de sintaxis y compilación [5].

En un estudio realizado en el año 2006 por Wang et al., se afirma que el tiempo invertido por los estudiantes para programar, por medio de bloques, es menor que la manera tradicional puesto que se previenen errores que normalmente los frustraban y bajaban su interés en temas de desarrollo. Como resultado de esta investigación se concluye que las herramientas visuales evitan errores y proporcionan una programación aún más estructurada que la textual [6].

Pero, ¿qué sucede con las personas que desean programar desde un dispositivo móvil? Esta es una problemática

que desde hace poco tiempo está siendo atacada, por ejemplo, en marzo de 2012 el equipo de Android innovó con una aplicación en el mercado llamada Android Integrated Development Environment –AIDE- [7] que permite crear un programa por medio de comandos de textos en dispositivos Android y compilarlo directamente desde el celular. Además, se evitan los emuladores, que implican mayor tiempo.

Programar dentro de un dispositivo móvil por medio de comandos de textos puede ser un proceso incómodo por el tamaño de la pantalla, además, se está expuesto a cometer errores sintácticos, por ende, es más práctico realizarlo con lenguajes visuales previamente nombrados. Con este avance el usuario lograría minimizar la dependencia que se tiene con un computador para realizar las aplicaciones.

El objetivo de este artículo es mostrar la utilidad de una aplicación llamada Graphical Programming Language on Android Devices –Gplad- que permite generar código en lenguajes como Java y ejecutarlo sobre servidores remotos para obtener su respuesta a través de bloques desde dispositivos Android.

Una de las aplicaciones utilizadas para programar sobre dispositivos móviles es Catroid [8], una aplicación para Android que soporta la programación visual permitiendo elaborar animaciones y juegos que se compilan desde el mismo dispositivo. A diferencia de Gplad que soporta el paradigma de programación estructurada, además, es importante indicar que éste tiene una diferencia puesto que el enfoque gráfico propuesto garantiza que los programadores comprendan más fácilmente un algoritmo porque se visualiza el ámbito de cada una de las porciones de código modeladas.

La estructura de este artículo se describe de la siguiente manera: en la sección 2 se abarca el proceso de desarrollo de Gplad, su estructura y planteamiento de dos ejercicios dentro de dicha herramienta para exponer su nivel, alcance y competitividad frente a otras aplicaciones. En la sección 3 se muestran los resultados obtenidos a través de la aplicación. En la sección 4 se encuentra lo que se planea para el futuro con Gplad. Finalmente, en la sección 5, se exponen las conclusiones basadas en los logros alcanzados en las secciones previas.

2. METODOLOGÍA

2.1 Graphical Programming Language For Android Devices -Gplad-

Es una aplicación para dispositivos que tengan como sistema operativo Android 2.3 o superior; posee un Do-

main Specific Language -DSL- gráfico implementado en Java y utiliza una interfaz drag and drop, con cajas y botones que permite expresar un problema de programación dentro de un dispositivo móvil Android en un lenguaje simple, de tal manera que los usuarios programen sin pensar en los errores sintácticos y se enfoquen en la lógica de su aplicación.

La problemática planteada para la creación de Gplad consistió principalmente en crear una aplicación que permita a los ingenieros programadores o personas interesadas en el tema de la ingeniería de software, solucionar y trabajar sobre problemas o retos de programación en diferentes lugares que no sea un computador convencional, al que se le adiciona otro gran desafío que permita al usuario programar por medio de bloques desde un dispositivo móvil.



Fig. 1. Ambiente de programación de Gplad

Como puede verse en la Fig. 1, los proyectos o programas de Gplad son construidos con el uso de la técnica drag and drop de las instrucciones que se encuentran en la categoría de bloques y se ubican dentro del escenario. La aplicación permite programar de forma cómoda, en dispositivos móviles Android y soporta cualquier cantidad de bloques que encajen entre sí y permite el desplazamiento a través del visualizador en miniatura.

2.2 Etapa de construcción de GPLAD

Para diseñar el lenguaje específico de dominio (DSL) se hizo un análisis entre el gráfico y el textual, se tomaron las variables: el tamaño de la pantalla, la GUI, el tipo de respuesta que debían tener los eventos generados por la aplicación y las características del hardware, entre otros, de acuerdo con los estudios realizados en [9].

Para la creación del DSL se tomó como referencia e inspiración el lenguaje de programación por bloques Start-Logo TNG [10], que permite saber si se está realizando bien la construcción del problema de manera que la forma de las figuras concuerden con otro único bloque. Para la producción de cada uno de los bloques existen dos categorías que determinan la forma de los bloques

(Round, Sharp o Square) y cada una puede pertenecer a uno de los dos grupos (Command Connector o Command Slot).



Fig. 2. Categorías de formas de Command Slot

En la Fig. 2, se observan las maneras para crear espacios de encaje de cada bloque. A partir de las formas básicas se pueden componer nuevas y se proporciona a cada bloque un estilo particular que le permita encajar sólo con los que debe.



Fig. 3. Categorías de formas de Command Connector

Las categorías de Command Connector que se muestran en la Fig. 3, le permiten a cada bloque tener la forma de conexión apropiada para encajar con los bloques que tengan el espacio o command slot respectivo.

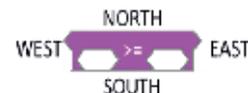


Fig. 4. Orientación de los bloques

Cada forma que se desee implementar a un bloque debe tener una coordenada de orientación basada en la Fig. 4, y se manipula con unos valores flotantes dentro del código.

CONTROL	OPERADORES	VARIABLES
<ul style="list-style-type: none"> if if-else while do-while for for-each break continue return 	<ul style="list-style-type: none"> + - * / % variable variable + 	<ul style="list-style-type: none"> NombreVar NombreVar NombreVar NombreVar NombreVar NombreVar
	LIBRERÍA	
	<ul style="list-style-type: none"> lib 	<ul style="list-style-type: none"> NombreVar
	ASIGNACIONES	IMPRESIONES
	<ul style="list-style-type: none"> abc 0 NombrePrograma 	<ul style="list-style-type: none"> Salida abc NombrePrograma

Fig. 5. Bloques de Gplad

Para implementar el DSL escogido y aplicarlo como solución a los lenguajes de programación, se hizo un estudio de las principales estructuras de control sobre un lenguaje de programación para expresar programas básicos. Los resultados de los bloques se advierten en la Fig. 5. De acuerdo con el tipo de bloque se tiene una representación XML diferente. Dicha representación deja hacer una transformación intermedia del programa visual expresado por el usuario a un lenguaje textual basado en XML que posteriormente será interpretado para hacer la generación de código al lenguaje de propósito general Java.

Para asegurar que el XML cumpla la estructura adecuada, se creó un DTD (Document Type Definition) que valida el XML que genera el aplicativo Gplad.

```

<!ELEMENT MAIN (VARIABLES?, LOGIC?)>
<!ATTLIST MAIN
name CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT VARIABLES (VARIABLE*)>
<!ELEMENT VARIABLE (#PCDATA)>
<!ATTLIST VARIABLE
name CDATA #REQUIRED
type CDATA #REQUIRED
value CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT LOGIC (CONDITIONAL | ASSIGN | LOOP | PRINT )*>
<!ELEMENT PRINT (#PCDATA)>
<!ATTLIST PRINT
type CDATA #REQUIRED
value CDATA #REQUIRED
variable CDATA #IMPLIED>
<!ELEMENT CONDITIONAL (RESTRICTIONS, THEN, ELSE?)>
<!ELEMENT RESTRICTIONS (LEFT, OPERATOR, RIGHT)>
<!ELEMENT LEFT (RESTRICTIONS?)>
<!ELEMENT RIGHT (RESTRICTIONS?)>
<!ELEMENT OPERATOR (#PCDATA)>
<!ATTLIST OPERATOR
type CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST CONDITIONAL
type CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT THEN (CONDITIONAL | ASSIGN | LOOP | PRINT )*>
<!ELEMENT ELSE (CONDITIONAL | ASSIGN | LOOP | PRINT )*>
<!ELEMENT ASSIGN (#PCDATA)>
<!ATTLIST ASSIGN
variable CDATA #REQUIRED
type CDATA #REQUIRED
value CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT LOOP (RESTRICTIONS?, THEN )>
<!ATTLIST LOOP
type CDATA #REQUIRED
block1 CDATA #IMPLIED
operator CDATA #IMPLIED
block2 CDATA #IMPLIED
from CDATA #IMPLIED
to CDATA #IMPLIED
step CDATA #IMPLIED>

```

Dentro de las sentencias que se muestran en el DTD, los valores #REQUIRED indica que el valor es requerido para que se realice, el valor #IMPLIED es un valor opcional. Cada programa sigue un dtdtree y se revisa que se cumpla cada uno de los parámetros, de tal manera que se genere correctamente la traducción y este árbol se encuentra expuesto a continuación:

```

MAIN (name)
|
|- VARIABLES?
| |
| +- VARIABLE* (name, type, value)
|
+- LOGIC?
|
| |- CONDITIONAL (type)
| |
| | |- RESTRICTIONS
| | |
| | | |- LEFT
| | | |
| | | | +- RESTRICTIONS? **
| | |
| | | |- OPERATOR (type)
| | | |
| | | | +- RIGHT
| | | | |
| | | | | +- RESTRICTIONS? **
| | |
| | | |- THEN
| | | |
| | | | |- CONDITIONAL (type) **
| | | |
| | | | |- ASSIGN (variable, type, value)
| | | |
| | | | |- LOOP (type, block1?, operator?, block2?, from?, to?, step?)
| | | | |
| | | | | |- RESTRICTIONS? -->
| | | | |
| | | | | +- THEN **
| | | |
| | | | +- PRINT (type, value, variable?)
| | |
| | | +- ELSE?
| | | |
| | | | |- CONDITIONAL (type) **
| | | |
| | | | |- ASSIGN (variable, type, value)
| | | |
| | | | |- LOOP (type, block1?, operator?, block2?, from?, to?, step?) -->
| | | | |
| | | | | +- PRINT (type, value, variable?)
| | |
| | | +- ASSIGN (variable, type, value)
| | |
| | | +- LOOP (type, block1?, operator?, block2?, from?, to?, step?) -->
| | | |
| | | | +- PRINT (type, value, variable?)

```

Con esta estructura y la lectura del XML creado por Gplad se produce un segundo árbol. Este árbol es generado y se respeta el orden que tienen las estructuras dentro del XML producido por Gplad con el objeto de evitar problemas en el momento de la traducción.

Para crear esta representación intermedia se obtiene con base en la serialización de cada bloque que se haya creado dentro del escenario.

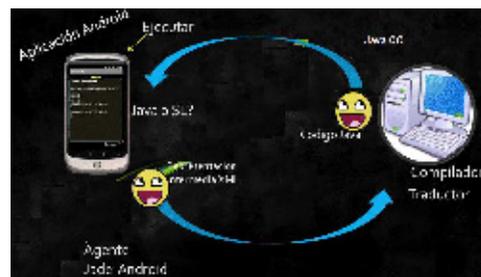


Fig. 6. Arquitectura de Gplad

Gplad requiere del uso de dos componentes de hardware elementales para el proceso de traducción y compilación; la parte gráfica se realiza desde el dispositivo Android y el servidor contendrá el compilador y traductor.

Como puede observarse en la Fig. 6, para la comunicación por medio del dispositivo Android y el servidor se empleó Jade Android [11], una plataforma que permite, por medio de protocolos de comunicación de agentes, específicamente Fipa Request, establecer un enlace entre el dispositivo móvil y el equipo para realizar envío de información a través de diferentes actos de comunicación entre agentes.

Para la conexión entre el agente y el equipo remoto, es necesario designar propiedades que necesita identificar el agente para saber con quién se va a conectar.

Estas propiedades son la IP y el puerto:

```
Properties props = new Properties();
props.setProperty(Profile.MAIN_HOST, ip);
props.setProperty(Profile.MAIN_PORT, port);
```

Estos valores se pasan por parámetros globales de tipo Application, obtenidos en la interfaz de configuración, en el que el usuario ingresa la dirección IP y el puerto donde está el agente del equipo remoto que espera un mensaje. Al realizar las propiedades de manera correcta se invoca el método *JadeGateway.connect* donde se realiza la conexión.

La creación del código XML generado se almacena en una variable que pasa por el agente que se encarga de recibir el código intermedio, que, de acuerdo con el lenguaje objetivo (Java), es enviado a un agente que se encuentra sobre el equipo remoto que recibe la información del dispositivo móvil Android, verifica el tipo de lenguaje y envía el comando al compilador, posteriormente, el agente localizado en el computador envía un mensaje de recibido y la respuesta de la traducción y la ejecución al agente en el dispositivo Android.

Para la implementación del traductor de código se hizo uso de 2 librerías llamadas Matra y JDOM, el primero se usa para leer la definición del lenguaje que está en un archivo Document Type Definition. -DTD-. JDOM es el encargado de leer el XML generado por Gplad y de leer el plugin del lenguaje con el que se va a trabajar.

Para la creación del código, fue necesario definir un mecanismo de extensión con plugin (lenguajes especificados en XML). Cada plugin tiene un esquema de traducción entre el lenguaje origen (bloques) y el lenguaje destino.

Por último, se produce la integración entre el agente y el traductor, es decir, el agente traductor envía al agente de la plataforma móvil la especificación del lenguaje (Java) y los resultados de la ejecución, en caso de que el programa estuviera correctamente especificado, o en su defecto, informa de los errores de compilación de acuerdo con las falencias sintácticas existentes.

2.3 Pruebas de desarrollo en Gplad

Gplad permite implementar programación estructurada a través de bloques sobre dispositivos móviles, lo que puede significar que esté al nivel de herramientas de desarrollo visual como Scratch y Alice, puesto que estas dos últimas herramientas son orientadas para gente joven (8 a 16 años) [12], y empleadas para historias animadas y juegos, mientras que Gplad, además de diferenciarse por ser una herramienta móvil, es capaz de soportar soluciones estructuradas a problemas básicos que se presentarían en los primeros cursos de Ingeniería de Sistemas.

La determinación de las pruebas de Gplad se estableció según ejercicios de cursos iniciales de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria San Martín. Con el fin de demostrar uno de los ejercicios que se pueden implementar en esta aplicación se ha seleccionado una prueba para hacer operaciones matemáticas y que precise de lógica por parte del usuario.

Para las pruebas se hizo uso de una tableta Samsung con sistema operativo Android 4.0 a la que se le instaló Gplad. Además de un computador portátil Lenovo con sistema operativo Windows 7, el cual, de manera provisional, contiene el traductor y funciona como medio remoto. Es de manera provisional porque, como trabajo futuro, se establecerá como servicio web para ser desplegada sobre computadoras personales.

Ejercicio uno: número primo

El programa debe recibir un número entero y determinar si es un número primo o no lo es. Para el caso base se debe probar con el número 5. Para solucionar este problema hay que tener claro que un número primo es un entero n si $n > 1$ y si los únicos divisores posibles de n son 1 y n . Si $n > 1$ y n no es primo, entonces se llama compuesto [13].

Con el objetivo de solucionar el problema de números primos dentro de Gplad se inició la implementación de los bloques correspondientes en el escenario, según la lógica planteada para su solución.

Como se puede observar en la Fig. 7, se hizo uso de bloques de control, operadores, variables, asignaciones e impresiones que previamente fueron expuestos en la Fig. 5.



Fig. 7. Implementación del ejercicio uno en Gplad

```

<MAIN name="NumeroPrimo">
<VARIABLES>
<VARIABLE name="numero" type="integer" value="5"/>
<VARIABLE name="auxiliar" type="integer" value="0"/>
<VARIABLE name="x" type="integer" value="0"/>
</VARIABLES>
<LOGIC>
<LOOP type="for"><FROM><VARIABLE name="contador" type="integer" value="2"/>
</FROM> <TO><RESTRICTIONS><LEFT>contador</LEFT> <OPERATOR type="&lt;">
</OPERATOR><RIGHT>numero</RIGHT></RESTRICTIONS></TO> <STEP variable="contador" operator="+"
value="1"></STEP>
<THEN><ASSIGN variable="auxiliar" type="asignaExp" value="numero%contador"/>
<CONDITIONAL type="if"><RESTRICTIONS><LEFT>auxiliar</LEFT> <OPERATOR type="==">
</OPERATOR><RIGHT>0</RIGHT></RESTRICTIONS>
<THEN>
<ASSIGN variable="x" type="asigna" value="1"/>
</THEN>
</CONDITIONAL>
</THEN></LOOP>
<CONDITIONAL type="if_else"><RESTRICTIONS><LEFT>x</LEFT> <OPERATOR type="==">
</OPERATOR><RIGHT>1</RIGHT></RESTRICTIONS>
<THEN>
<PRINT type="textAndVar" value="NO es primo " variable="numero"/>
</THEN>
<ELSE>
<PRINT type="textAndVar" value="SI es primo " variable="numero"/>
</ELSE>
</CONDITIONAL>
</LOGIC>
</MAIN>

```

Obsérvese la representación XML estructurada de la unión de cada uno de los bloques implementados en el escenario de Gplad. Por ejemplo, en la primera línea se encuentra el inicio del método cuyo nombre fue asignado en el bloque con `</MAIN name="NumeroPrimo">` y finaliza con el cierre del bloque, como se ve en la última línea con la sentencia `</MAIN>`. Así mismo funcionan los bloques implementados dentro del escenario, de acuerdo con su estructura y representación en XML.

Una vez se implementaron los bloques con los respectivos nombres y lógica, se configuró la ip y el puerto de acuerdo con la conexión de internet a la que se encuentre conectado el dispositivo móvil y el computador encargado de la traducción. Después, se configuró el agente y se indicó el lenguaje en el que se desea obtener el código fuente (Java). Se adquiere, de manera inmediata, su código fuente en dicho lenguaje. Cuando se realizó el proceso de traducción se observó no sólo el código en el lenguaje objetivo (Java), sino, también, su representación intermedia en XML.

Ejercicio dos: número invertido

Se debe generar una aplicación que reciba un número de tres cifras y de debe obtener el número de manera invertida. Por ejemplo, si se recibe 284, se debe generar como solución el número 482. Al obtener ese resultado se evidencia el intercambio del orden de los números.

Para solucionar este problema dentro de la aplicación Gplad, se hizo uso de bloques de variables enteras, ciclos, expresiones e impresiones.

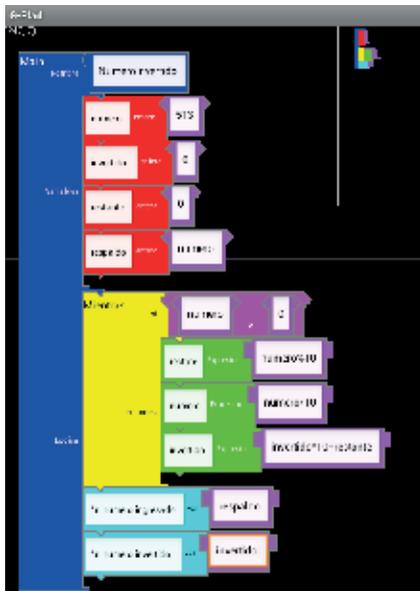


Fig. 8. Implementación del ejercicio dos en Gplad

De la misma forma que ocurrió con el ejercicio uno, se genera una representación intermedia en XML correspondiente al problema implementado en Gplad y ocurre el mismo procedimiento con los agentes para la traducción y compilación del código generado en la Fig. 8, para obtener el número invertido del entero 513.

3. RESULTADOS

Ejercicio uno: número primo

Fue satisfactoria la implementación del problema para determinar si un número es primo o no lo es.

En la Fig. 9, el código fue recibido sin ninguna notificación de error, el nombre y la estructura se corresponden con lo que se esperaba obtener. Al ejecutarlo desde el computador el resultado obtenido arrojó una respuesta válida ante el problema planteado.

```

import java.io.BufferedReader;
import java.io.InputStreamReader;
import java.io.IOException;
public class NumeroPrimo {
public static void main(String args[]) {
int numero = 5 ;
int auxiliar = 0 ;
int x = 0 ;

for ( int contador = 2 ;
{ contador <= numero ; contador = contador + 1 } {
auxiliar = numero%contador ;
if ( auxiliar == 0 ){
x = 1 ;
}
}
if ( x == 1 ){
System.out.println(" NO es primo " + numero );
} else { System.out.println(" SI es primo " + numero );
}
}
}
    
```

Fig. 9. Código generado en Java del ejercicio uno por Gplad

La variable ingresada se había determinado que fuera el número 5, y como se observa en la Fig. 10, y el resultado obtenido dentro del dispositivo móvil coincidió con el obtenido al ejecutar el código Java generado dentro de la herramienta Eclipse. El resultado fue que el número 5 sí es un número primo y es un resultado correcto que satisface la solución del problema. Para probar que el código generado funciona con cualquier cantidad de números y valores se realizó una prueba con los números 1, 3, 7, 11, 84, 99, 100 y funcionó correctamente con cada una de las pruebas.

Ejercicio dos: número invertido

Después de implementar los bloques en Gplad e indicar que se desea la traducción en Java, se recibe su código y resultado dentro del dispositivo móvil.

El código generado por la aplicación en el lenguaje objetivo (Java), ilustrado en la Fig. 10, no presenta ningún error de sintaxis o semántica, lo que permite afirmar que el resultado fue satisfactorio. La variable del número para invertir fue el valor 513, como se indica en el bloque llamado número de la Fig. 8. El resultado obtenido dentro del dispositivo móvil Android coincidió con el creado al ejecutar el código Java que se observa en Fig. 10

```

import java.io.BufferedReader;
public class NumeroInvertido {
public static void main(String args[]) {
int numero = 513 ;
int invertido = 0 ;
int restante = 0 ;
int respaldo = numero ;

while ( numero > 0 ){
restante = numero%10 ;
numero = numero/10 ;
invertido = invertido*10+restante ;
}
System.out.println(" \n numero ingresado " + respaldo );
System.out.println(" \n numero invertido " + invertido );
}
}
    
```

Fig. 10. Código generado en Java del ejercicio dos por Gplad

Para validar de manera reiterativa se hicieron pruebas con números como: 2, 12, 406, 111, 202, 798 y no presentaron ningún inconveniente, lo que permite afirmar que la solución planteada fue válida.

4. TRABAJOS FUTUROS

Gplad es generadora de código Java, lenguaje sustentado como uno netamente objetual, por lo que será posible adaptar esta aplicación para que permita la POO en un futuro cercano. Adicionalmente, se está trabajando en complementar la aplicación, de tal manera que soporte vectores, estructuras matemáticas y trigonométricas, además del paradigma de la Programación Orientada a Objetos -POO-.

5. CONCLUSIONES

Tras haber realizado las pruebas de programación dentro de Gplad, se pudo demostrar que la aplicación permite a los usuarios solucionar problemas de software por medio de bloques en tiempo real sobre dispositivos móviles Android, lo que la convierte en una aplicación innovadora frente a herramientas de programación visual como Scratch, Alice, StarLogo TNG que están hechas para trabajar desde computadores.

Los usuarios de esta herramienta deben tener conocimiento en temas de programación básica o lógica de resolución de problemas a diferencia de los que utilicen Scratch o Alice que están orientados para jóvenes sin conocimiento alguno en estos temas; esto no implica que para hacer uso de Gplad deban conocer la sintaxis de un lenguaje como Java, puesto que la aplicación a través de sus figuras encajan en únicos bloques, lo cual les facilita la abolición de errores y evita que se invierta tiempo en la corrección de errores sintácticos y semánticos.

REFERENCIAS

- [1] Aradas, A. La programación de computadoras es "el latín del siglo XXI". Disponible en: <http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2012/03/120307_tecnologia_programacion_aa.shtml>. Acceso: 13 Abr. 2012.
- [2] Johnsgard, K. & McDonald, J. (2008). Using Alice in overview courses to improve success rates in programming I. 8.
- [3] Kelleher, C; Pausch, R. Lowering the Barriers to Programming: a survey of programming en-

- vironments and languages for novice programmers, tech. report CMU-CS-03-137, School of Comp. Science, Carnegie Mellon, 2003.
- [4] Xiajian, C.; DANLI, W.; HONGAN, W. Design and Implementation of a Graphical Programming Tool for Children. IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering - CSAE, 2011, p. 572-576.
- [5] Mohamad, H.; Patel, A.; Latih, R.; Qassim, Q.; Na, L. Y. Tew. Block-based Programming Approach: Challenges and Benefits, Conference: International Conference on Electrical Engineering and Informatics – ICEEI, pp. 1-5, 2011.
- [6] Wang, K.; McCaffrey, C.; Wendel, D.; Klopfer, E. 3D Game Desing with Programming Blocks in StarLogo TNG. In ICLS: Proceedings of the International Conference on Learning Sciences. International Society of the Learning Sciences. 2006. p.1008-1009.
- [7] APPFOUR GMBH. (2012). Recuperado el 6 de agosto de 2012, de AIDE - Android Java IDE: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.aide.ui&hl=es>
- [8] Catroid. Recuperado el 24 de febrero de 2013, Obtenido de <http://www.catroid.org/catroid/index/1>
- [9] Cárdenas, J. R. Dsl Gráfico para la solución de problemas de programación sobre dispositivos móviles Android. 2011. 151 p. Monografía (Ingeniería de Sistemas). Fundación Universitaria San Martín, Bogotá, 2011.
- [10] MIT. StarLogo TNG. Recuperado el 19 de octubre de 2012, de <http://education.mit.edu/projects/starlogo-tng>
- [11] JADE. Java Agent Development Framework. Disponible en: <<http://jade.tilab.com/>>, Acceso 25 de Agosto de 2012.
- [12] Maloney, J. et al. The Scratch Programming Language and Environment. ACM Transactions on Computing Education, New York, vol. 10, n. 4, p. 1-15, Nov. 2010.
- [13] Apóstol, T. (2012). Introducción a la teoría analítica de números. Editorial Reverté. p. 19.

DESARROLLO DE UN MODELO DE RECONOCIMIENTO Y CLASIFICACIÓN DE ROSTRO UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (LAMDA-FUZZY)

DEVELOPMENT OF A MODEL OF FACE RECOGNITION AND CLASSIFICATION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES (LAMDA-FUZZY)

Ph.D. Oscar Eduardo Gualdrón Guerrero
Universidad de Pamplona
Pamplona, Colombia

Ph.D. Ivaldo Torres Chávez
Universidad de Pamplona
Pamplona, Colombia

Mg. Jorge Luis Díaz Rodríguez
Universidad de Pamplona
Pamplona, Colombia

(Recibido el 19/02/2012. Aprobado el 19/03/2012)

Resumen. En este artículo se presenta una estrategia para el reconocimiento de imágenes estáticas, específicamente de reconocimiento facial a través de una técnica novedosa y reciente de clasificación que se llama método Lamda (Learning Algorithm for Multivariable Data Analysis). La estrategia consta de tres etapas que conforman el modelo de reconocimiento y clasificación presentado en este trabajo, la primera, denominada pre-procesamiento, es la encargada de adecuar las imágenes con procesos de filtrado y comprensión. La segunda etapa es la correspondiente a la extracción de características para obtener los atributos de las imágenes y diferenciarlas de manera correcta. Finalmente, la etapa de clasificación, que es la que relaciona las clases con las imágenes analizadas con la técnica Lamda.

Palabras clave: Lógica difusa; Lamda; Reconocimiento facial; Análisis de componentes principales.

Abstract. This paper presents a strategy for static images recognition, specifically, face recognition using a new technique and classification method known as LAMDA (Learning Algorithm for Multivariable Data Analysis). Mainly, the strategy consists of 3 steps in model recognition and classification, the first one called pre-processing, it is responsible for applying filtering processes to adjust images, to facilitate understanding, among others. The second step corresponding to feature extraction, to ensure getting the attributes of the image and they can be distinguished easily. Finally, the classification step that relates classes with the analyzed images using the LAMDA technique.

Keywords: Fuzzy logic, LAMDA, facial recognition, principal component analysis (PCA).

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de una metodología para identificar la mejor técnica con capacidad discriminativa en imágenes, constituye un aspecto innovador en las estrategias de clasificación, a pesar de que existen trabajos enfocados al reconocimiento de imágenes y usados para aplicaciones de seguridad, entretenimiento e interfaces [1-5]. Todavía surgen problemas para determinar los procedimientos más adecuados de reconocimiento. Hoy en día aparecen nuevas técnicas de reconocimiento y clasificación como el método Lamda (algoritmo de aprendizaje para el análisis de datos multivariantes) propuesto por Aguilar-Martin (1982), que es una herramienta de clasificación basada en clusters difusos en el que el algoritmo evalúa los niveles de adecuación de cada individuo para cada clase, su estructura es muy parecida a la de las redes neuronales pero posee ventajas como la rapidez en la clasificación, el manejo de información cualitativa y cuantitativa, entre otros. En los procesos de clasificación e identificación de señales, de voz o de imágenes, algunos de los principales inconvenientes que se presentan son la alta dimensionalidad de los datos y la necesidad de una buena interpretación de los mismos, por lo que se requiere de etapas previas de procesamiento de la información para mejorar o adecuar las señales con el fin de facilitar los procesos de clasificación. Un sistema de reconocimiento facial consta de tres bloques fundamentales: pre-proceso, extracción de características y clasificación [6-9]. En el primer paso se realizan, sobre la imagen de entrada, los procesos que tienen que ver con el tratamiento digital de la imagen, necesarios para resaltar los detalles de interés. En la segunda etapa se extraen las características que se van a utilizar en el reconocimiento, formar uno o varios vectores patrón y, por último, se efectúa la clasificación, se compara el nuevo patrón con los patrones de usuarios registrados.

Para la comprobación de la estrategia, o modelo desarrollado con la técnica de clasificación mencionada en el reconocimiento de rostros, se utilizaron dos bases de datos: la primera con imágenes de la base de datos FEI obtenida del centro universitario de FEI en Brasil. La segunda es un conjunto de imágenes faciales de personas, tomadas con una cámara digital en condiciones específicas con el fin de validar el modelo de reconocimiento facial.

2. ALGORITMO DE APRENDIZAJE PARA EL ANÁLISIS DE DATOS MULTIVARIABLES (LAMDA)

2.1 Método Lamda

El método Lamda es de clasificación de tipo difuso que permite distinguir entre características de objetos de diferentes clases, conserva parámetros representativos de cada una y, en caso de no reconocer alguno de estos parámetros, crea una nueva clase significativa inicializada con dicho objeto. Se diferencia de otros métodos porque lo hace de manera rápida y no aumenta el número de iteraciones [10].

El método Lamda es una estrategia de clasificación desarrollada por N. Piera [11] basada en una idea original de J. Aguilar. [12]. Ha sido usado recientemente en el desarrollo de sistemas para el monitoreo de procesos industriales complejos [13-16], segmentación de imágenes a color [17].

Su clasificación puede ser de 2 formas: supervisada y no supervisada y su estructura es parecida a la de las redes neuronales, está conformada por descriptores o atributos, grado de adecuación marginal MAD, conectivos (operador de agregación) y grado de adecuación global GAD. A continuación se profundiza más en la teoría del método Lamda.

Lamda se basa en encontrar niveles de adecuación de cada individuo para cada clase, llamados grados de adecuación globales (GAD), usa las contribuciones de todos los atributos. Un objeto puede estar descrito por varios atributos, cada uno perteneciente a sub-universos diferentes, atributos cuyos descriptores pueden ser numéricos o cualitativos. A la contribución de cada uno de los atributos descriptivos de un individuo a su adecuación se le llama adecuación marginal (MAD). Las adecuaciones marginales se combinan con conectivos relacionados con operaciones lógicas. Para un objeto definido y una clase dada, se forma el vector de las adecuaciones marginales y se caracteriza la situación del objeto con respecto a la clase.

En las adecuaciones marginales MAD, su concepto está relacionado con qué tan similar es un descriptor con un descriptor de una clase dada. Matemáticamente se calculan con las siguientes ecuaciones.

$$MAD_{c,d} = \rho_{c,d}^{X_{i,d}} (1 - \rho_{c,d})^{(1 - X_{i,d})} \quad (1)$$

$$MAD_{c,d} = \rho_{c,d}^{1 - |X_{i,d} - c|} (1 - \rho_{c,d})^{|X_{i,d} - c|} \quad (2)$$

$$MAD_{c,d} = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{X_{i,d} - \rho_{c,d}}{\sigma} \right)^2} \quad (3)$$

$$\rho_{c,d} = \frac{1}{N_k} \sum_{x \in C_k} \hat{x}_i \quad (4)$$

$$\hat{x}_i = \frac{X_i - X_{i \min}}{X_{i \max} - X_{i \min}} \quad (5)$$

Donde:

$\rho_{c,d}$ = Parámetro de aprendizaje (Ro) para la clase c y descriptor d

$X_{i,d}$ = Descriptor d de un objeto i

σ = Desviación estándar

\hat{x}_i = Descriptor promedio

Las adecuaciones marginales son combinadas con la lógica Fuzzy y con sus respectivos conectores como los operadores de agregación para obtener los grados de agregación global de un individuo para una clase. La función agregación es una interpolación lineal entre la *t-norma* y la *t-conorma* mediante el uso de un parámetro se representa la intersección y significa la unión. La fórmula general para calcular el GAD es:

$$GAD = \beta T(MAD) + (1 - \beta) S(MAD) \quad (6)$$

Finalmente, un elemento es asignado para la clase con un mayor valor de GAD. La Figura 1 muestra una representación de la técnica Lamda. Cada objeto (por ejemplo vector de data o muestras) tiene un GAD para cada clase. Aguado y Aguilar-Martin (1999) presentan una descripción completa de la metodología Lamda.

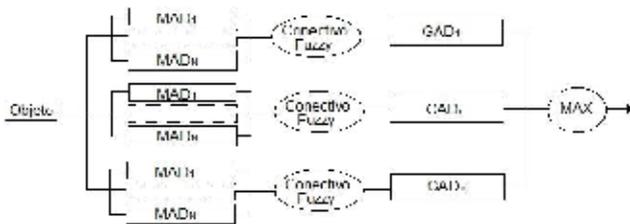


Fig.1. Representación de la técnica Lamda

Cuando el algoritmo Lamda es usado del modo de auto-aprendizaje (clustering), sólo existe una clase llamada clase no informativa (NIC). Por lo que el pri-

mer elemento se clasifica en la clase NIC. Cuando un elemento es asignado a la NIC éste se considera como no reconocido y se crea una nueva clase inicializada con los parámetros de la NIC. Si una entrada se asigna a una clase existente, los parámetros de la clase se actualizan. En la Figura 2 se muestra el algoritmo de forma no supervisada.

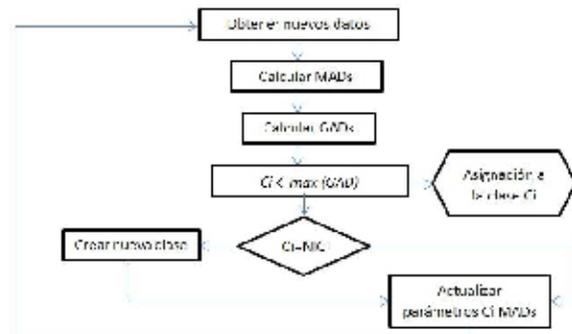


Fig. 2. Algoritmo Lamda de forma no supervisada

3. METODOLOGÍA RECONOCIMIENTO Y CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES ESTÁTICAS (ROSTROS)

Como se señaló, un sistema de reconocimiento facial consta de tres bloques fundamentales: pre-proceso, extracción de características y clasificación. (Ver Figura 3).



Fig. 3. Sistema general de reconocimiento facial

3.1 Etapa de pre-procesamiento

Para el diseño de esta etapa de pre-procesamiento de la imagen y mediante una revisión de los posibles inconvenientes en el momento de individualizar la cara como tal del resto de la imagen, se ideó la siguiente metodología de adecuación y posterior segmentación de la imagen representada en la Figura 4.

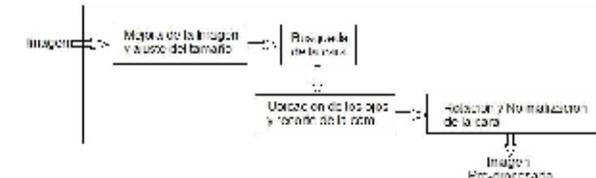


Fig. 4. Descripción de la etapa de pre-procesamiento

La imagen pasa por un proceso de mejora de la misma con el uso de filtros para eliminar y corregir

problemas que tengan que ver con el ruido y la iluminación de dicha imagen. Dentro de este proceso y debido a los problemas que existen en algunas imágenes por haber sido capturadas con una mala iluminación, se somete esta imagen de entrada a un filtro de mediana. Este filtro de mediana corrige la presencia de ruido impulsivo generado en la imagen, si tiene fallas, puesto que el sistema debe ser capaz de recibir cualquier imagen sin importar su tamaño. Luego de que ésta pasa por la etapa de mejoramiento es redimensionada a un determinado tamaño que permita al sistema funcionar más rápidamente. Cuando la imagen es mejorada pasa por un proceso de búsqueda de la cara para aislar el rostro de la persona del resto de la imagen para advertir cambios en el espacio de color de la representación de la imagen y transformaciones morfológicas dentro de la misma. Con la cara aislada, el sistema se enfoca en ubicar las posiciones de los ojos con el objetivo de utilizar estas posiciones en el recorte de la imagen del rostro. La correcta ubicación de los ojos representa una de las metas más importantes del desarrollo del sistema, porque permiten segmentar correctamente la cara del resto de la imagen. Si esto no se logra para la imagen de entrada, el sistema tiene gran probabilidad de fallar en su reconocimiento.

Cuando los ojos son correctamente hallados y la imagen del rostro es recortada, dicha imagen pasa por un proceso final de rotación y normalización. Como la postura del usuario no se va a controlar, el rostro puede quedar inclinado hacia la derecha o hacia la izquierda dentro de la imagen. En esta etapa de preprocesamiento se corrigen estas inclinaciones por medio de una rotación de la imagen. Luego de que se corrige la inclinación, el sistema realiza una normalización de la imagen con respecto a su tamaño, es decir, se redimensiona nuevamente la imagen del rostro para la siguiente etapa.

3.2 Etapa de extracción de características

En la Figura 5 se describe el bloque encargado de la extracción de las características fundamentales de la imagen.

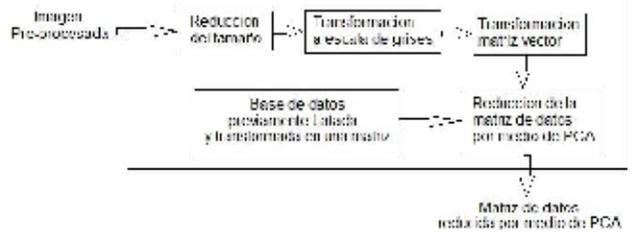


Fig. 5. Descripción de la etapa de extracción de características

Cuando la imagen ingresa a la etapa de extracción de características, sufre una reducción significativa de su tamaño para aumentar la velocidad del sistema. El siguiente paso en esta etapa es transformar la imagen reducida previamente en una imagen en escala de grises puesto que se representa mediante el modelo RGB. Lo anterior se realiza con el fin de disminuir la complejidad del desarrollo posterior a esta etapa.

Al terminar la transformación de la imagen en escala de grises, se convierte esta imagen, que es una matriz de $m \times n$ elementos, en un vector de $1 \times (m \times n)$ elementos que contienen la misma información de la imagen original pero organizada dentro de un arreglo vectorial.

Después de reorganizar la información de la imagen en un vector, se junta este vector con otros vectores que pertenecen a la base de datos del sistema en una sola matriz. Estos vectores contienen los valores de las imágenes de todas las personas que se encuentran registradas en la base de datos.

Cuando todos los vectores han sido ubicados dentro de una matriz en la que cada fila corresponde a la imagen de una sola persona, se utiliza el método de Análisis de Componentes Principales (PCA) para reducir la cantidad de datos de cada fila ($m \times n$), a unos cuantos datos llamados comúnmente PCs, que mantienen diferenciada la información de cada fila pero con una cantidad significativamente pequeña de datos.

3.3 Etapa de clasificación de imágenes

Esta etapa es la más importante del sistema y en la que se centra este trabajo. Se desarrolló con la técnica de clasificación mencionada anteriormente (método Lamda). Con la matriz obtenida de la etapa de adecuación o extracción de características se puede iniciar con la ejecución del método Lamda. La Figura 6 muestra el respectivo diagrama de bloques.

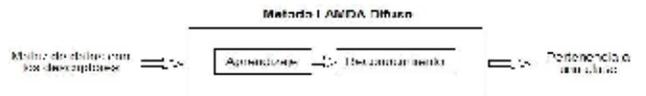


Fig.6. Diagrama de bloques etapa de clasificación

Lamda es un método con el que se trabaja de diferentes maneras y brinda buenos resultados en la clasificación, sobre todo, si se usan descriptores cualitativos, que es una de las ventajas de este método.

Lamda se basa en analizar las características de los objetos de estudio de diferentes clases y el método se puede usar de forma supervisada o no supervisada, es decir, es capaz de crear nuevas clases con objetos que no reconoce e, incluso, se puede implementar la actualización de clases para que un nuevo sujeto entre a ser parte de los parámetros de la clase a la que ahora pertenece.

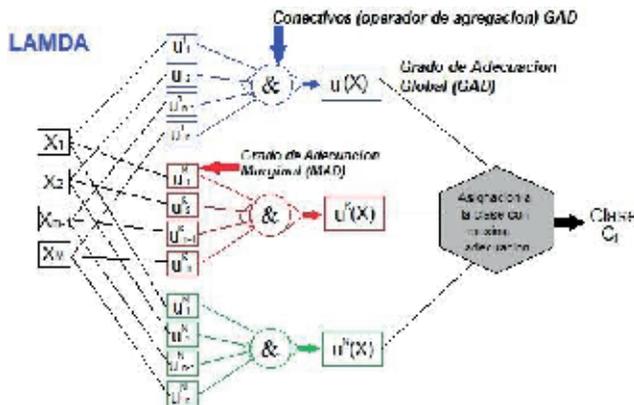


Fig. 7. Principio funcionamiento método LAMDA

Al terminar esta etapa se continúa con el reconocimiento con Lamda. En la Figura 7 se puede observar el procedimiento hasta llegar al reconocimiento en el que se clasifica la imagen. Para hacer esto, es preciso decidir los descriptores, que sean representativos y suficientes para diferenciar un objeto de otro.

En la parte de las adecuaciones se deben calcular según la cantidad de descriptores o atributos y de acuerdo con la definición para saber si son cualitativos o cuantitativos y se debe elegir el operador de agregación, como ya se vio en la sección 2.1.

Para el proyecto el operador seleccionado fue intersección con el parámetro de $\beta = 1$ que brindó buenos resultados., es decir, se usó el mínimo de los MAD para hallar el GAD, y el máximo de los GAD para identificar a qué clase corresponde una imagen.

4. SOFTWARE

Para la implementación del método Lamda y la estrategia de clasificación de imágenes faciales se ha utilizado el software de procesamiento Matlab, versión 2010.

5. EXPERIMENTO Y RESULTADOS

5.1 Descripción de los datos

Para estos experimentos se utilizaron imágenes de la base de datos FEI, que fue obtenida del centro universitario de FEI en Brasil. Además de esta base de datos, se creó un pequeño conjunto de imágenes de 10 personas que permitió también probar el sistema de reconocimiento facial.

5.2 Base de datos FEI

Gracias al centro universitario de FEI se obtuvo una base de datos de imágenes faciales creada en Brasil en el año 2005. Las imágenes fueron recopiladas mediante una participación voluntaria de 200 personas que trabajaban o estudiaban en FEI en ese año.

La base de datos posee 2.800 imágenes de 100 hombres y 100 mujeres, para cada uno de estos sujetos fueron capturadas 14 imágenes y se variaron la rotación, la traslación y la iluminación de las mismas.

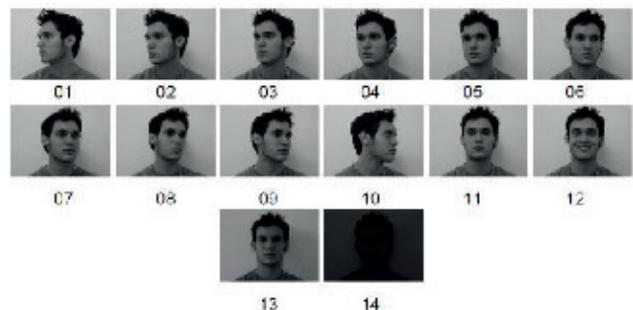


Fig. 8. Conjunto de 14 imágenes capturadas de un voluntario de la base de datos FEI

La cámara fotográfica utilizada tiene una resolución de 5.1 megapíxeles y el tamaño de las imágenes capturadas es de 640x480 píxeles VGA (Video Graphics Array) con formato JPEG (Joint Photographic Experts Group). Todas las fotos fueron tomadas sin flash y guardadas con una codificación alfanumérica para preservar la identidad de los voluntarios. Durante la adquisición de las imágenes, los voluntarios firmaron un acta de compromiso mediante la cual permiten que las imágenes puedan ser publicadas en relatos científicos relacionados con el reconocimiento facial.

Para realizar el experimento se tomaron como referencia 80 imágenes de 10 personas (10 clases) de la base de datos FEI. Se dividieron en 40 imágenes para el proceso de entrenamiento y aprendizaje y 40 para la respectiva validación. Es decir, por persona cuatro imágenes para entrenar y cuatro para validar. Las imágenes seleccionadas son las siguientes:



Fig.9. Conjunto de las imágenes correspondientes a las clases para diferenciar en el sistema

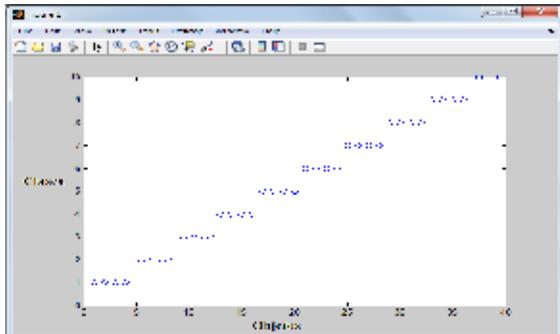


Fig.10. Representación en Matlab de la relación clases vs. muestras

5.3 Experimentos

Para verificar el funcionamiento del algoritmo se realizaron varias pruebas con el fin de demostrar la eficiencia, robustez y desempeño de las técnicas y el método implementado en este trabajo. Se hicieron pruebas de reconocimiento con los descriptores seleccionados en la fase de extracción y se usaron componentes principales (se seleccionaron 20 PCs que agrupaban el 96 por ciento de la varianza para reducir la información a una matriz de 40x20) que se definieron como descriptores cuantitativos en el proceso de clasificación.

Antes de la etapa de clasificación se hizo necesario ajustar la información proveniente de la extracción de características con componentes principales, se convirtieron los valores o descriptores PCs en rangos comprendidos entre 0 y 1, debido a que el método Lamda sólo brinda buenos resultados con valores de unidad como en la lógica difusa: 0 es no pertenencia y 1 es máxima pertenencia. Cuando se observó la matriz de componentes principales se detectó que contenía la información reducida incluso en valores negativos, lo que no permitiría el uso correcto del método de clasificación. Por tal razón, se realizó corrimiento, escalado y normalización de los datos para adecuarlos de forma correcta y sin alterar la información para su posterior clasificación.

Sin este paso previo los porcentajes de clasificación y reconocimiento de los rostros eran cercanos al 60 por ciento. Cuando se hizo esta modificación llegaron a un 95 por ciento de aciertos con las muestras de validación de las 10 clases.

Para mejorar aún más los porcentajes de clasificación se efectuaron nuevas pruebas, principalmente, se convirtieron los descriptores cuantitativos en cualitativos, que es una de las cualidades del método Lamda. En esta nueva prueba sólo se seleccionaron 6 PC's con una varianza del 95%. Cuando se hizo la validación con las 10 clases se obtuvo el 100% del reconocimiento de las imágenes. Pruebas hechas con la disminución de la cantidad de PC's no arrojaron mejores resultados. Para convertir los descriptores de cuantitativos a cualitativos se diseñó un programa que definía 3 estados (bajo, medio, alto) que está en coherencia con lo que significa la lógica difusa cuando se toma un rango de valores, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Rango de valores conversión cuantitativo-cualitativo

Rango del valor	Conversión para efectos del programa	Significado difuso
$X \leq 0.33$	0	Bajo
$0.33 < X \leq 0.66$	0.5	Medio
$0.66 < X \leq 1$	1	Alto

En un trabajo previo [18] se realizó un proceso similar para el reconocimiento facial y se diferencia del actual en la etapa de clasificación. En este caso se usaron, como técnica de clasificación, las máquinas de soporte vectorial (SVM) y las máquinas de soporte vectorial por mínimos cuadrados multiclase (LS-SVM). Se obtuvieron resultados muy similares, cercanos al 100% para la base de datos del FEI. Al realizar un análisis comparativo entre los dos resultados se puede inferir que en el caso de la técnica Lamda el tiempo computacional de ejecución fue significativamente más rápido que con los SVM. Igualmente, la técnica presentada no depende de muchos parámetros específicos de ajuste en el modelo, como sí se requiere en las técnicas basadas en máquinas de soporte vectorial (C, Kernel, Gam, Sigm), lo que es una ventaja significativa en el momento de definir requerimientos en el uso de la técnica de reconocimiento.

6. CONCLUSIONES

De los distintos experimentos hechos se deduce que es importante la etapa de pre-procesamiento en las

imágenes. El estado en el que se encuentre la imagen es significativo para que la información contenida en los componentes principales sea suficiente para obtener mejores resultados.

El método Lamda, así como otras técnicas de clasificación, son susceptibles al parecido de las imágenes. Por tal razón, para un mejor funcionamiento, las imágenes deben ser similares a las fotos usadas en el aprendizaje, tanto en las condiciones en las que fueron tomadas (distancia, iluminación) como la posición de la persona en la imagen.

El método Lamda se destaca con respecto a otras técnicas en el hecho de tener resultados prometedores, incluso sin necesidad de usar etapas de pre-procesamiento complejo y, además, trabajar con descriptores cualitativos y cuantitativos. Por otro lado, esta técnica en particular permite trabajar con aprendizaje supervisado como no supervisado, lo que implica que el aprendizaje sea activo.

Con el método Lamda de clasificación difusa aparece la noción de adecuación de un objeto a una clase, concepto similar al de función de pertenencia en subconjuntos difusos, teoría que ofrece un modelo de la percepción clasificatoria del universo gracias a que facilita la atribución de un individuo para tantas clases como sea necesario.

Del experimento con descriptores cuantitativos se pudo observar la importancia de los descriptores. Elegir el descriptor correcto asegurará mejores resultados a la hora de clasificar. En el experimento con descriptores cualitativos se comprobó que los resultados son considerablemente mejores.

Hubo un inconveniente con el tiempo. Cuando se comprobó el funcionamiento del algoritmo, alrededor de un minuto cuando se hacía el reconocimiento a las 10 clases. Inconveniente presentado por el costo en la etapa de pre-procesamiento e influenciado por el número de clases para clasificar, es decir, mientras más clases mayor será el tiempo de ejecución.

Además de la base de datos FEI, se realizaron pruebas con una pequeña base de datos creada durante el desarrollo del trabajo con 10 personas nuevas. El número de imágenes por cada persona fue de 20, tomadas con diferente iluminación y con rotaciones en más o menos 10 grados, y su distancia con respecto a la cámara. De la misma manera que se utilizó en las pruebas con la base de datos FEI, se selecciona-

ron 10 imágenes por persona para el entrenamiento y 10 para la respectiva validación del modelo. Los resultados fueron prometedores porque se mantiene un promedio entre 85 y 95 % en la clasificación.

Para mejorar la estructura de presentación del algoritmo desarrollado se implementó una interfaz gráfica con la herramienta Guide del Matlab.

REFERENCIAS

- [1] Efraty, B., Bilgazyev, E. "Profile-based 3D-aided face recognition. J. Pattern Recognition", vol 45, pp. 43-53, 2012.
- [2] Ngoc-Son Vu, Hannah M. Dee, Caplier, A. "Face recognition using the POEM descriptor", J. Pattern Recognition, Vol 45, pp. 2478-2488, 2012.
- [3] R. Wildes et al. "A System for Automated Iris Recognition", Proc. 2nd IEEE Workshop Applicat. Comput. Vision, pp. 28, 1994.
- [4] Xiaoyang Tan, Songcan Chen, Zhi-Hua Zhou, Fuyan Zhang. "Face recognition from a single image per person: A survey", J Pattern Recognition, Vol 39, pp. 1725- 1745, 2006.
- [5] L. Ma, T. Tan, Y. Wang and D. Zhang. "Personal Identification Based on Iris Texture Analysis", IEEE, pp. 15, 2003.
- [6] A. H. Proença and L. A. Heidelberg. "UBIRIS: A Noisy Iris Image Database", SpringerLink, 18 de noviembre de 2005. Image Analysis and Processing – ICIAP, Vol. 3617, pp. 970-977, 2005.
- [7] X. Zhang, Y. Gao. "Face recognition across pose: A review". J Pattern Recognition, vol 42, pp. 2876-2896, 2009.
- [8] S. L. Phung. A. Bouserdoum. D. Chai. "Skin Segmentation Using Color Pixel Classification: Analysis and Comparison". IEEE sections on pattern analysis and machine intelligence, vol. 27, no. 1, pp. 148-154, 2005.
- [9] J. Daugman and C. Downing. "Epigenetic randomness, complexity and singularity of human iris patterns". Proc. R. Soc. Lond. B 268, pp. 1737-1740, 2001.
- [10] J. A. Martin. Clasificación difusa, inteligencia artificial para la supervisión de procesos industriales, Universidad de los Andes, Consejo de Publicaciones, pp. 83-97, 2007.
- [11] N. Piera, P. Desroches, J. Aguilar. "An incremental conceptual clustering system". Report technique 89420, LAAS/CNRS, 1989.

- [12] J. Aguilar, M. Balssa, R López. "Estimation recursive d'une partition. Exemples d'apprentissage et autoapprentissage dans R^n et \mathbb{I}^n ". Rapport technique 880139, LAAS/CNRS, 1980.
- [13] C. Uribe, C. Isaza, O. Gualdrón, C. Durán, A. Carvajal.: A Wrapper Approach Based on Clustering for Sensors Selection of Industrial Monitoring Systems, DCS – 2010 Int. Workshop. Fukuoka Japón, Nov. 4-6, 2010.
- [14] Bouchra Lamrini, Marie-Véronique Le Lann, Ahmed Benhammou, ElKhadir Lakhal. "Detection of functional states by the LAMDA classification technique: application to a coagulation process in drinking water treatment". J Comptes Rendus Physique, Vol. 6, Issue 10, pp. 1161-1168, 2005.
- [15] A. Orantes, T. Kempowsky, M.-V. Le Lann, J. Aguilar-Martin. "A new support methodology for the placement of sensors used for fault detection and diagnosis". J Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, Volume 47, Issue 3, pp. 330-348, 2008.
- [16] J. Quevedo, V. Puig, G. Cembrano, J. Blanch, J. Aguilar, D. Saporta, G. Benito, M. Hedo, A. Molina. "Validation and reconstruction of flow meter data in the Barcelona water distribution network". J. Control Engineering Practice, Vol. 18, Issue 6, pp. 640-651, 2010.
- [17] Andrei Doncescu, Joseph Aguilar-Martin, Jean-Charles Atine. "Image color segmentation using the fuzzy tree algorithm T-LAMDA". J Fuzzy Sets and Systems, Volume 158, Issue 3, pp. 230-238, 2007.
- [18] Tarazona Giovani, Tesis de Grado, "Estudio, diseño e implementación de un sistema de reconocimiento facial basado en inteligencia artificial con proyección a sistemas automáticos de seguridad" Universidad de Pamplona, 2010.

UN ENFOQUE PARA LA CREACIÓN DE TAREAS ROBÓTICAS AUTO-SANABLES BASADO EN EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE

APPROACH TO THE CREATION OF ROBOTIC TASK SELF-HEALING BASED ON CLOUD COMPUTING PARADIGM

Mg. Byron Portilla-Rosero

*Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia*

Ph.D. Jaime Alberto Guzmán Luna

*Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia*

(Recibido el 21/02/2012. Aprobado el 19/03/2012)

Resumen. Cada día se implementan nuevas tecnologías para dar solución a los requerimientos de los usuarios. Tal es el caso de la computación en la nube, que se basaba en el principio de ofrecer servicios a los clientes a través de la Internet y pueden ser accedidos desde cualquier lugar o sistema. Esta tecnología se ha puesto en marcha en varias áreas del conocimiento para dar soluciones a diversos problemas de carácter tecnológico o estructural. En este artículo se presenta una visión preliminar del estado en el que se encuentra la computación en la nube asociada con la robótica y cómo puede ser utilizada como medio de análisis para la creación de tareas robóticas.

Palabras clave: Análisis de fallas; Computación en la nube; Control de robots.

Abstract. Cloud computing is a new paradigm used to solve client requirements. This technology is based on providing services through Internet and these services can be used from any place and any systems. Furthermore this technology is implemented in many areas as a mean to solve technological and structural failures. This paper shows an approach about preliminary statement of cloud computing and robotic also it shows how this technology can be used how to analyze in the creation of robotic task.

Keywords: Cloud computing, failure analysis, robot control.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las tecnologías orientadas a la Web ha hecho posible superar los paradigmas relacionados con la interacción de sistemas con los usuarios. Así mismo, han hecho posible realizar procesos de negocios en tiempo real, mejorar las capacidades internas y externas de múltiples entidades porque ofrecen sus productos y servicios.

Uno de los nuevos paradigmas asociados con estas tecnologías es la computación en la nube, que ha sido implementada para facilitar la interacción entre los procesos distribuidos de forma externa a una interfaz centralizada, donde no es necesario tener todo el conjunto de aplicaciones dentro de un solo sistema, sino diferentes sistemas que se ejecutan independientemente pero que, a la vez, puedan ser accedidos desde cualquier lugar y por cualquier otro sistema que lo requiera.

Una de las extensiones de la computación en la nube es los RaaS, robots como servicios [1]; con esto se pretende hacer una representación externa de manera que cada parte del robot sea constituida como una unidad dentro de la nube y, a partir de allí, identificar el comportamiento de cada una de las partes del robot para mejorar su comportamiento.

Con este enfoque es posible programar las tareas que uno o un conjunto de robots puede hacer para satisfacer los requerimientos de un usuario; sin embargo, es importante resaltar que esas tareas pueden ser interpretadas en varios contextos y enfoques diferentes. Por ello se puede incurrir en fallos que alteran el comportamiento final de los dispositivos y ocasionan anomalías en el desarrollo de las tareas. Por lo tanto, es necesario evitar estos fallos o controlarlos a través de retroalimentaciones asociadas con la construcción de las tareas de forma que éstas automáticamente se auto-sanen y se disminuyan los errores.

2. LA ROBÓTICA DENTRO DE LA COMPUTACIÓN EN LA NUBE

La RaaS ha hecho posible comprender de otra forma la estructura y el comportamiento de los robots con una arquitectura descentralizada. A través de esta representación, es posible interactuar con distintos robots para cumplir múltiples objetivos; no obstante, cuando un robot no puede satisfacer un requere-

rimiento de manera independiente, es necesario distribuir esa tarea a varios robots y de esta forma alcanzar el requerimiento. Sin embargo, estas tareas pueden presentar fallos orientados a tres características particulares como el contexto, la representación y la plataforma robótica.

La detección y análisis de las fallas han sido constantes y de los mayores obstáculos en el área informática. Con el aumento de la complejidad de los sistemas, mayor es el desafío para entenderlos y tratarlos puesto que demandan demasiado tiempo en su detección y en la construcción de su posible solución de manera manual; por lo tanto, a través de la literatura, se ha identificado una perspectiva basada en la computación automática para desplegar procesos automáticamente y brindar solución para una problemática. Dentro de este campo se encuentra el paradigma auto-sanable [2], que alude a técnicas que permiten que un sistema regrese a uno de sus estados de funcionamiento normal y determina qué medidas son necesarias para regresar a dicho estado. Las dos técnicas utilizadas dentro de este paradigma son: la búsqueda de errores hacia adelante y la búsqueda de errores hacia atrás y alcanzar un grado de libertad que hace posible retornar a un estado en el que el funcionamiento del sistema pueda ser recuperado [3], [4].

Cada sistema está propenso a fallas como las que afectan las aplicaciones, bases de datos, redes y comunicaciones, entre otros. Sin embargo, las nuevas tecnologías orientadas a la Web y los mismos sistemas robóticos no son libres a este fenómeno pues estos sistemas pueden ser vulnerables a fallos desde múltiples aspectos como la de un ambiente altamente variable y las características básicas de los servicios (QoS), así como el contexto donde se ejecuta el sistema robótico. A continuación se hace un repaso de los estados de falla que se evaluará con el modelo de auto-saneamiento.

2.1 Análisis de contexto

Desde el punto de vista del contexto una falla es una alteración del entorno robótico en el que desempeña una actividad. De acuerdo con la literatura, la evaluación del contexto es una actividad en la que se evalúa el conocimiento físico, computacional y de las tareas del usuario. La información requerida se obtiene de distintas fuentes y cada una difiere de la calidad de la información, lo que lo hace propenso a fallas [5].

La importancia de este enfoque radica en tener conciencia de la ubicuidad de los servicios y su actuación. Por lo tanto, se ha encontrado información sobre las valoraciones del contexto y cómo razonar para adquirir la información relacionada con el tema.

Uno de los aspectos que se ha tenido en cuenta para modelar el contexto es el rol que cumplen los objetos. Uno de los modelos utilizados es CML [6] [7], que fue desarrollado para el modelado conceptual de bases de datos. Además, permite capturar y razonar sobre información como perfiles de usuarios, datos estáticos o de sentido y adicionar datos de calidad. Este modelo razona a través de un conjunto de sentencias SQL y maneja la incertidumbre del contexto por medio de lógica trivaluada.

Otra forma de modelar la información del contexto es a través del espacio, que ha sido considerado como fundamental para la adquisición de información. Según [8], la definición de espacio puede ser considerada como: "dónde está, quién es y qué recursos están cerca". Por otro lado, el espacio es definido por [9] como el lugar central de las entidades del contexto, donde una entidad puede ser considerada como una persona, lugar u objeto relevante para la interacción entre un usuario y un sistema. Este modelado está conformado por descripciones físicas, localizaciones estáticas o móviles a través de sistemas de posicionamiento, aunque éstas pueden ser coordenadas geométricas o coordenadas simbólicas como una dirección física. En [10], se propone un modelo de ontologías territoriales para expresar modelos semánticos relacionados con la descripción del espacio.

El contexto del espacio permite razonar sobre la relación entre localización y espacio de un objeto en la que se analiza su posición, su rango y su objeto más cercano [11].

Finalmente, otra forma de modelar el contexto es a través de ontologías que han sido utilizadas ampliamente porque mejoran el razonamiento y las expresividades y usan expresiones simbólicas y lógica descriptiva [12]. Uno de los lenguajes utilizados es OWL, que se ha convertido en un estándar para la representación de dominios y son representados a través de clases, características particulares de los individuos (datatype properties) y relaciones entre individuos (object properties); además, permite el manejo de restricciones entre clases, de manera que sea posible el manejo de ambigüedades y mejorar la expresividad del conocimiento.

Una característica particular es que por medio de las ontologías se puede inferir un nuevo conocimiento a partir de las clases y propiedades definidas en el dominio; así mismo, es posible identificar inconsistencias del contexto.

2.2 Análisis de representación

Las fallas se presentan cuando las representaciones de los servicios o sus componentes ubicados en el entorno Web muestran alteraciones en su comportamiento como disponibilidad, reacciones de tiempo y latencia, entre otros, que, en su mayoría, son capturados a través de los parámetros no funcionales (QoS).

En el trabajo de [13], se presenta una framework orientado a servicios robóticos ubicuos (SURF). Este trabajo utiliza las redes de tareas jerárquicas HTN con el fin de integrar los servicios robóticos. Hacen uso de servicios Web para robots, redes de sensores y dispositivos como interfaz para acceder a ellos. La descripción del conocimiento se describe en el lenguaje OWL y se representan los parámetros de QoS que evalúan cada una de las partes del sistema de calidad.

Por otro lado, en el trabajo de [14], se presenta un modelo para componer servicios robóticos ubicuos automáticamente y se hace uso de un algoritmo de aprendizaje bayesiano para buscar la construcción de un plan composición a partir de la optimización del número de servicios y el número de parámetros que necesita cada servicio, es decir, sus entradas y salidas. La descripción de los servicios se hace en el lenguaje OWL-S. Este trabajo es extendido a una descripción de calidad [15] en la que se analiza la composición de servicios a través de tres criterios: costo, tiempo de respuesta y energía. A partir de estos criterios el compositor toma la decisión de cuál servicio utilizar.

El trabajo de [16], muestra el manejo de servicios robóticos por medio de arquitecturas orientadas a servicios; cada aplicación es configurada y reconfigurada con dispositivos móviles que acceden a una plataforma de servicios Web para que el usuario maneje los dispositivos de acuerdo con sus preferencias.

2.3 Análisis de arquitectura

Actualmente, la Web se ha convertido en el medio para unificar sistemas y representarlos por medio de procedimientos que permiten controlar de mane-

ra independiente los diferentes procesos asociados con dichos sistemas. Varias teorías se plantean para lograr una interacción entre sistemas, una de ellas es la que se enfoca a la robótica (RaaS) que trata de definir una nueva era en computación en la nube y alude al control de robots de manera distribuida a través de la Web. En los últimos años, se ha tratado de migrar distintas descripciones asociadas con los robots para operarlos con procesos remotos alrededor de un contexto particular.

En la literatura se han identificado investigaciones que tratan de acercarse a la representación de un robot como un aspecto particular de la nube, este es el caso de [1] en el que se plantea una arquitectura que para representar la granularidad de los sistemas robóticos; se trata de definir aquellos conceptos que están directamente asociados con la RaaS y cómo cada una de las descripciones de un robot puede ser representada como un proceso particular de la computación en la nube.

Por otra parte, en [17] se plantea framework, que identifica limitaciones asociadas con la versatilidad, capacidad y extensibilidad de los robots tradicionales; en este trabajo se plantean los robots como objetos programables disponibles en una red. Esto permite que el procesamiento de los datos se realice no como una secuencia sino como tareas particulares para cumplir ciertos procesos relevantes en una ejecución. Además, influye en el comportamiento del robot porque se satura de procesos innecesarios.

Finalmente, [18], también presenta un framework, para obtener las ventajas de la computación en la nube en cuanto a la escalabilidad y el paralelismo para ser utilizados en servicios robóticos. Con esto se pretende comunicar paralelamente diferentes servicios robóticos y reducir el procesamiento de la información en cuanto a la adquisición de la información y la generación de rutas.

3. UN ENFOQUE PRELIMINAR

El estudio de las arquitecturas orientadas a la Web ha permitido la extensión de los servicios a una representación en entornos reales como lo son los servicios robóticos (RaaS). Estos servicios pueden ser considerados como sistemas ubicuos con una alta probabilidad de fallas por la aleatoriedad de su entorno, su representación e interacción. Para lograr su composición, se ha hecho uso de técnicas de plani-

ficación en IA como HTN [19] y expansión por grafos [20] incluidas, en algunos casos, características de calidad para mejorar la selección de servicios.

Sin embargo, los servicios en ambientes dinámicos requieren de monitoreo constante y, además, en entornos reales se hace necesario que el servicio actúe de acuerdo con las necesidades de los usuarios y con su contexto. La importancia de esto es hacer que los servicios se acerquen a una buena representación de una tarea y buscar aquellos aspectos que describen su entorno para mejorar su funcionalidad. En un ambiente donde los servicios son descritos para robots, las actividades desarrolladas por éste deben acercarse a las características de los clientes y al contexto que requieran para alcanzar su objetivo.

Para mejorar las actuaciones de los servicios robóticos se hace indispensable contar con un mecanismo que permita, de manera automática, construir tareas robóticas auto-sanables que tengan en cuenta el contexto de los robots, su arquitectura y la representación de las tareas para adecuar la funcionalidad y estructura de los servicios a aquellos aspectos que le permitan alcanzar los objetivos requeridos. Un enfoque preliminar se presenta en la Figura 1.

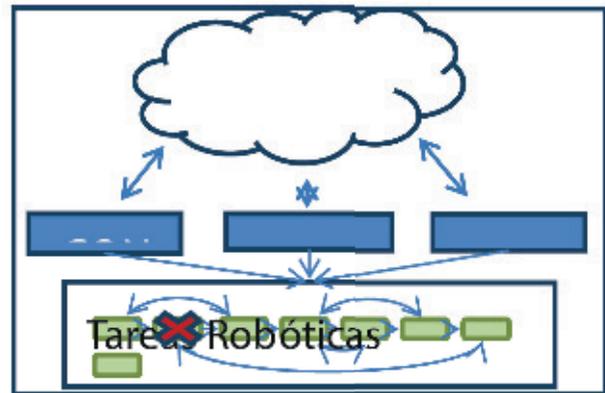


Fig. 1. Enfoque preliminar para la creación de tareas robóticas

En esta figura se representan los servicios que analizan el contexto, la representación y la arquitectura de los robots. Estos servicios se procesan de forma independiente en la Web sin comprometer los requerimientos de los dispositivos. A su vez, éstos permiten sugerir el conjunto de tareas que alcanzarán el objetivo final del robot. Sin embargo, estas tareas pueden fallar y es necesario reemplazarlas para construir nuevamente la tarea robótica.

4. CONCLUSIONES

Actualmente, se están construyendo nuevas metodologías para la representación de servicios robóticos en un ambiente descentralizado, lo que implica describir las tareas robóticas de forma distribuida en un ambiente externo como es la Web, específicamente con el nuevo paradigma de las RaaS, lo que ha hecho posible representar plataformas robóticas y cada una de las tareas que hará el robot de manera independiente; no obstante, aunque existen técnicas de planificación en inteligencia artificial para componer las tareas, hasta el momento en la revisión del estado del arte no se ha encontrado un modelo que permita, con una tarea robótica compuesta, determinar una falla y auto-sanarla a partir del estado error y que alcance su objetivo de forma satisfactoria.

Por lo tanto, se plantea un enfoque preliminar que se fundamente en modelos auto-sanables para la creación de tareas robóticas con el paradigma de computación en la nube y sin dejar de lado los problemas de contexto, representación y arquitecturas de los robots.

REFERENCIAS

- [1] Y. Chen, Z. Du y M. García-Acosta, «Robot as a Service in Cloud Computing,» *International Symposium on Service Oriented System Engineering*, pp. 151-158, 2010.
- [2] S. Sharee, B. Laster, O. Ayodeji y B. Olatunji, «Autonomic Computing: Towards a Self-Healing System,» *Proceedings of the Spring 2007 American Society for Engineering Education Illinois-Indiana Section Conference*, 2007.
- [3] J. McCann y M. Huebscher, «A survey of Autonomic Computing - degrees, models and applications,» *Journal ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 40, n° 3, 2008.
- [4] I. Al-oqily, S. Bani-Mohammad, B. Subaih y J. J. Alshaer, «A Survey for Self-Healing Architectures and Algorithms,» *Systems, Signals and Devices (SSD)*, pp. 1-5, 2012.
- [5] C. Bettini, O. Brdiczka, K. Henricksen, J. Indulska, D. Nicklas, A. Ranganathanf y D. Riboni, «A survey of context modelling and reasoning techniques,» *Pervasive and Mobile Computing*, pp. 161-180, 2010.
- [6] K. Henricksen y J. Indulska, «Modelling and using imperfect context information,» in: *1st Workshop on Context Modeling and Reasoning (CoMoRea)*, 2004.
- [7] K. Henricksen y J. Indulska, «Developing context-aware pervasive computing applications: Models and approach,» *Pervasive and Mobile Computing*, pp. 37-64, 2006.
- [8] B. Schilit, N. Adams y R. Want, «Context-aware Computing Applications,» *Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 85-90, 1994.
- [9] A. Dey, «Understanding and using context,» *Personal and Ubiquitous Computing*, 2001.
- [10] A. Frank, «Tiers of ontology and consistency constraints in geographical information systems,» *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 15, n° 7, pp. 667-678, 2001.
- [11] C. Becker y F. Dürr, «On location models for ubiquitous computing,» *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 9, n° 1, pp. 20-31, 2005.
- [12] F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi y P. Patel-Schneider, *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications*, Cambridge University Press, 2003.
- [13] Y. Ha, J. Sohn y Y. Cho, «Service-oriented integration of networked robots with ubiquitous sensors and devices using the semantic Web services technology,» *Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2005)*, vol. 2, n° 6, p. 3947 – 3952, 2005.
- [14] A. Yachir, K. Tari, A. Chibani y Y. Amirat, «Towards an Automatic Approach for Ubiquitous Robotic Services Composition,» *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3717-3724, 2008.
- [15] A. Yachir, K. Tari, Y. Amirat, A. Chibani y N. Badache, «QoS Based Framework for Ubiquitous Robotic Services Composition,» *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2019-2026, 2009.

- [16] V. Trifa, C. Cianci y D. Guinard, «Dynamic Control of a Robotic Swarm using a Service-Oriented Architecture,» 13th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 2008), 2008.
- [17] Z. Du, W. Yang, Y. Chen, X. Sun, X. Wang y C. Xu, «Design of a Robot Cloud Center,» Tenth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, pp. 261-275, 2011.
- [18] R. Arumugam, V. R. Enti, L. Bingbing, W. Xiaojun, K. Baskaran, F. F. Kong, S. Kumar, K. D. Meng y G. W. Kit, «DAvinCi: A Cloud Computing Framework for Service Robots,» International Conference on Robotics and Automation, pp. 3084-3089, 2010.
- [19] E. Sirin, B. Parsia, D. Wu, J. Handler y D. Nau, «HTN planning for web service composition using SHOP2,» Web Semantics, vol. 1, nº 4, pp. 377-396, 2004.
- [20] A. Blum y M. Furst, «Fast planning through planning graph analysis,» Artificial Intelligence, vol. 90, pp. 281-300, 1997.

LA GESTIÓN DE INDICADORES EMPRESARIALES CON LÓGICA DIFUSA PARA LA TOMA DE DECISIONES

BUSINESS MANAGEMENT INDICATORS WITH FUZZY LOGIC TO MAKE DECISIONS

**Ph.D. Martín Darío
Arango Serna**

*Universidad Nacional
Medellín, Colombia*

**MSc. Conrado Augusto
Serna Urán**

*Universidad de San Buenaventura
Medellín, Colombia*

**MSc. Giovanni Pérez
Ortega**

*Departamento de Ingeniería de la
Organización Universidad Nacional
Medellín, Colombia*

Resumen. En las organizaciones actuales la toma de decisiones está acompañada de cierto grado de incertidumbre, lo que no permite planificar sobre resultados ciertos. En algunas ocasiones medir estos resultados también implica incertidumbre asociada con la ambigüedad o subjetividad del instrumento utilizado. Como solución para este problema, se propone un sistema de medición y análisis basado en el Balance Scorecard que incorpora técnicas de lógicas difusas para disminuir la incidencia de esta incertidumbre en los procesos de toma y análisis de decisiones.

Palabras clave: Balance Scorecard; lógica difusa; gestión de indicadores; sistema de inferencia difusa, modelo difuso tipo Mamdani.

Abstract. In today's organizations the decision-making processes are always accompanied by some degree of uncertainty makes it impossible to plan on completely accurate results. Sometimes measure these results also have some uncertainty associated with ambiguity or subjectivity of the instrument used; as a solution to this problem, this paper proposes a measurement and analysis system based on the Balance Scorecard that incorporates fuzzy logic techniques to decrease the incidence of this type of uncertainty in the processes of making and analysis decision.

Keywords: Balanced Scorecard, fuzzy logic, management Indicators, fuzzy inference system, Mamdani fuzzy model.

1. INTRODUCCIÓN

El Balance Scorecard (BSC) y la teoría de la lógica difusa son dos conceptos difundidos en investigaciones que han tenido aplicaciones prácticas en la mayoría de los campos y sectores empresariales. Este estudio integra ambos conceptos y parte de un modelo de análisis de resultados basado en el BSC, que reúne aspectos como la medición del desempeño de procesos productivos, estratégicos y de apoyo en los que factores como la competencia laboral, el clima organizacional, el nivel de satisfacción del cliente, los resultados financieros, entre otros, se consolidan para entregar una visión sistémica en relación con el nivel de competitividad que posee la organización, mientras que las técnicas de lógica difusa, y específicamente la inferencia difusa, sirve de base para que el análisis de los resultados incluya aspectos ambiguos o imprecisos presentes en cualquier modelo de gestión y que requieren ser tratados con estas técnicas en lugar de ignorarlos como tradicionalmente ha sucedido.

En la primera parte del artículo se aborda una definición del BSC y cuatro perspectivas fundamentales (clientes, procesos internos, financiero, empleados) para el desarrollo de estos modelos. Luego, se hace una introducción a la lógica difusa y al concepto de inferencia y se concluye con el despliegue de un modelo de integración de ésta con BSC con aplicación teórica a una empresa.

2. BALANCE SCORECARD

En los últimos años las empresas han aplicado metodologías que han sido utilizadas para hacer mediciones, tomar decisiones y mejorar los procesos; sin embargo, en sus aplicaciones no se enfocaban en alinear la estrategia con las acciones desarrolladas. La necesidad de disponer de herramientas de medición del desempeño a diferentes niveles de la toma de decisiones y con un enfoque balanceado, llevó a Kaplan y Norton [1] a proponer el BSC como un medio para evaluar el desempeño de una organización desde cuatro perspectivas: clientes, finanzas, procesos internos y aprendizaje y crecimiento. El BSC inicia con establecer objetivos estratégicos y factores de éxito, para luego implementar indicadores que ayuden a medir áreas críticas; de esta manera el BSC se consolida como un sistema de medida de rendimiento que refleja la visión y la estrategia de los aspectos más significativos de la compañía [2].

Ahora, la aplicación del BSC y de otros modelos de gestión, están sujetos a condiciones de incertidumbre que hacen más difícil proponer objetivos claros y métodos acertados para alcanzarlos, incluso los resultados obtenidos pueden ser imprecisos o presentar dificultad cuando se integran con otros mecanismos de medición para obtener conclusiones sistémicas. Por tal razón, cada vez es más necesario el uso de herramientas como la lógica difusa para tratar apropiadamente la incertidumbre en la toma de decisiones.

3. LÓGICA E INFERENCIA DIFUSA

La teoría de la lógica difusa fue impulsada por Zadeh [3], como una manera de representar conocimientos inexactos, vagos, o ambiguos. Esta herramienta es distinta a la lógica clásica porque pretende introducir un grado de incertidumbre en el razonamiento y pensamiento humano, para tener respuestas basadas en conceptos más coherentes. La necesidad que tiene el mundo actual de encontrar soluciones reales a problemas donde la vaguedad existe, ha hecho que la lógica difusa haya logrado trascendencia en su aplicabilidad en las áreas económicas, sociales, industriales y políticas, entre otras [4].

La aplicación más extendida de la lógica difusa es sin duda Fuzzy Inference Systems (FIS) (Figura 1), que es una manera de representar conocimientos y datos inexactos en forma similar a como lo hace el pensamiento humano [5] también los FIS corresponden a las herramientas computacionales que permiten el manejo de vaguedades e incertidumbre con alto nivel de abstracción, pues entrega respuestas válidas a pesar de que la información suministrada al sistema sea incompleta [6].

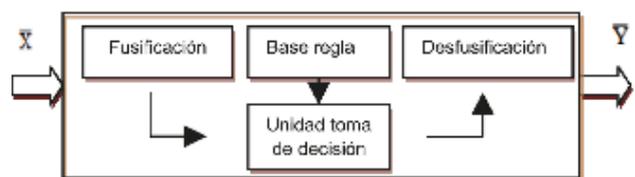


Fig. 1. Sistema Inferencia Difusa, Fuente: Sáenz, 1999

Los FIS más conocidos son: sistemas de inferencia Mamdani, Relacionales o Pedryckz y Takagi-Sugeno. Este artículo se concentra en los sistemas Mamdani, los cuales usan reglas “si entonces...” para realizar un mapeo de los conjuntos de entradas difusos en

los conjuntos de salidas de acuerdo con la lógica difusa [6]. Los principales componentes son:

- El fusificador tiene el efecto de transformar los datos concretos de la medición en valores lingüísticos apropiados.
- La base de reglas difusas almacena el conocimiento empírico de la operación del proceso.
- El defusificador se usa para producir una decisión no difusa o acción de control de una acción de control difusa inferida por la máquina de inferencia.

4. APLICACIÓN DE LÓGICA DIFUSA EN INDICADORES DE GESTIÓN Y BSC

Concalves (2008) utiliza dos indicadores de desempeño estratégicos que son analizados a través de la lógica difusa. El objetivo del modelo es utilizar las matemáticas borrosas para hacer proyecciones, convertir la visión y la estrategia en objetivos medibles para evaluar el desempeño; estas medidas se usan para diseñar una aplicación futura sobre las acciones que deben tomar los administradores para alcanzar los objetivos estratégicos. Valenzuela [7] diseñó un sistema de información integrado de gestión de indicadores con factor difuso para el mejoramiento continuo de los procesos en las empresas. El mismo autor plantea diseñar un sistema de información de indicadores para el mejoramiento continuo de la calidad de los procesos que manejen los aspectos blandos con técnicas de la lógica difusa.

Los autores Mallo et al [8], proponen la aplicación de matrices de incidencia borrosa para validar las relaciones entre los factores críticos de éxito y determinar los grados de incidencia directa e indirecta. En la implementación del BSC, se utilizaron matrices de incidencias para validar las relaciones causa-efecto entre indicadores. Mediante esta herramienta se comprueba el grado de corrección de las interrelaciones entre las variables determinadas por los expertos. Por su parte, Nissen [9] describió en su trabajo la importancia de los aspectos de la incertidumbre en el contexto del cuadro de mando mediante el estudio de los conjuntos difusos y su aplicación en esta herramienta. La investigación de Bodillo et al [10], añaden la semántica y la vaguedad al BSC y demuestran el éxito que tienen la lógica difusa en su tratamiento. Mallo et al [11], proponen la aplicación de la lógica difusa para la cuantificación de los factores críticos de éxito de medición subjetiva y su comparación con los objetivos propuestos. Así mismo, con el uso de

los intervalos de confianza y de etiquetas lingüísticas fundadas en la opinión de expertos, se evaluó el cumplimiento de los objetivos planteados para las perspectivas integrantes del BSC. Como resultado, las herramientas aportadas por la lógica difusa, no sólo permitieron realizar mediciones de variables cualitativas sino, también, hacer operaciones. De igual manera, por haber cuantificado estas variables, se opera con factores de diverso origen, e incluso sumar variables cuantitativas con cualitativas. Por último, Cogollo [12], desarrolló un modelo de medición del desempeño en cadenas de suministro en ambientes de incertidumbre y el cual fue aplicado a un astillero colombiano.

5. MODELO BSC CON APROXIMACIONES DIFUSAS

El modelo está basado en la distribución de energía, en la que se proponen los siguientes indicadores dentro de las perspectivas definidas por Kaplan y Norton [6]:

Perspectiva financiera

Entre los indicadores para esta perspectiva tenemos: el margen de utilidad y capitalización. El primero se define como la ganancia que puede obtener la organización a través de la eficiencia y eficacia de sus procesos. El segundo está relacionado con las inversiones que realiza la empresa para mejorar las condiciones generales de la organización.

Perspectiva del cliente

Se definieron los siguientes indicadores: la satisfacción de los clientes, calidad y continuidad del servicio.

Perspectiva de los procesos internos

Los indicadores relacionados son: pérdidas técnicas y no técnicas, productividad del proceso de distribución de energía eléctrica y optimización del control y mantenimiento. Las pérdidas técnicas están en relación con la energía que se disipa y que no puede ser aprovechada de ninguna manera. Las pérdidas no técnicas hacen alusión a pérdidas de energía por causas delictivas como conexiones clandestinas y la alteración del equipo de medida. Para el indicador de productividad se tomarán variables como la capacidad de distribución y optimización de los recursos, mientras que el indicador de mantenimiento está relacionado con su planeación y su ejecución.

Perspectiva de aprendizaje y crecimiento

Los indicadores que se utilizan dentro de la perspectiva aprendizaje y crecimiento interno son las siguientes: capacitación, competencias y crecimiento personal.

En la Figura 2 se muestran las relaciones de los indicadores de las perspectivas del BSC, que, a su vez, se integran para reflejar el nivel de satisfacción en relación con el desempeño organizacional; esta satisfacción puede estar directamente relacionada con el nivel de gestión que busca la empresa a partir de los procesos evaluados en el modelo BSC.

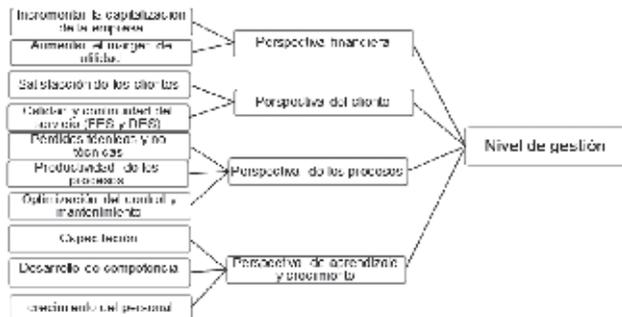


Fig. 2. Metodología del modelo de estudio. Fuente: Elaboración propia

a. TRATAMIENTO DIFUSO AL MODELO BSC

Para dar solución al sistema de indicadores, se desarrolló una metodología basada en el modelo Mamdani. Con este modelo, en la Figuras 3 se representan los indicadores como valores difusos, que deben ser agrupados de tal manera que generen un resul-

tado en relación con la perspectiva correspondiente. Este resultado será llamado Nivel de gestión de la perspectiva.

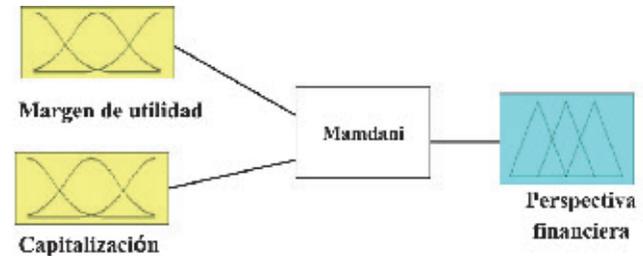


Fig. 3. Sistema de inferencia difusa de la perspectiva de finanzas. Fuente: Elaboración propia

El modelo desarrollado consta de dos fases: en la primera se seleccionaron los indicadores pertinentes a la distribución de la energía eléctrica, y su respectiva fusificación. Luego, se definieron las reglas difusas según el FIS tipo Mamdani y se combinaron los valores de los indicadores en cada perspectiva para proceder a defusificar los resultados con el método del centroide y obtener un valor de calificación de cada perspectiva. En la segunda fase se repitió el procedimiento anterior y se usaron, en lugar de indicadores, las cuatro perspectivas de salida obtenidas.

i. Descripción fase 1.

Los indicadores seleccionados y su respectiva función de pertenencias se muestran en la Tabla 1. Dicha función es de tipo triangular y está definida para los conjuntos Alto, Medio y Bajo.

Tabla 1. Indicadores de gestión y conjuntos difusos

Indicador	Alto	Medio	Bajo
Margen de utilidad	[6.16; 8.08; 10]	[3.44; 6.16; 8.88]	[2.0; 4.08; 6.16]
Capitalización	[209; 219; 230]	[197; 207; 217]	[191; 199; 205]
Calidad (FES y DES)	[0.62; 1; 1]	[0.28; 0.59; 0.9]	[0; 0.28; 0.56]
Satisfacción	[0.64; 1; 1]	[0.27; 0.59; 0.91]	[0; 0.27; 0.54]
Pérdidas no técnicas	[0.52; 0.76; 1]	[0.21; 0.47; 0.73]	[0; 0.21; 0.42]
Productividad	[0.6; 0.8; 1]	[0.25; 0.55; 0.85]	[0; 0.25; 0.5]
Mantenimiento	[0.39; 0.7; 1]	[0.18; 0.39; 0.57]	[0; 0.18; 0.36]
Capacitación	[0.78; 1; 1]	[0.28; 0.55; 0.82]	[0; 0.15; 0.3]

Para continuar con el desarrollo de la fase 1, se formularon las restricciones para cada perspectiva. En total 72, de las que se enseña una parte en la Tabla 2.

Tabla 2. Reglas difusas perspectiva financiera. Fuente: Elaboración propia

Margen de utilidad	Capitalización	Gestión financiera
Media	Bajo	Medio
Media	Medio	Medio
Media	Alto	Bajo

Para obtener los niveles de gestión de las 4 perspectivas se usó el método centroide con el que se obtiene un resultado no difuso para cada perspectiva (defusificación).

ii. Descripción de la etapa 2

Después de obtener los niveles de gestión en las cuatros perspectivas, se da inicio a la etapa 2, en la que se proponen los siguientes conjuntos difusos en relación con las perspectivas. (Tabla 3).

Tabla 3. Desfusificación de perspectivas

Perspectiva	Alto	Medio	Bajo
Financiera	[0.5; 0.8; 1; 1]	[0.2; 0.5; 0.8]	[0; 0; 0.2; 0.5]
Cliente	[0.5; 0.9; 1; 1]	[0.1; 0.5; 0.9]	[0; 0; 0.5; 0.9]
Procesos internos	[0.5; 0.9; 1; 1]	[0.1; 0.5; 0.9]	[0; 0; 0.1; 0.5]
Aprendizaje/Crecimiento	[0.5; 0.8; 1; 1]	[0.2; 0.5; 0.8]	[0; 0; 0.2; 0.5]

Algunas de las 81 reglas difusas usadas en la segunda etapa se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Reglas difusas etapa 2. Fuente: Elaboración propia

Aprendizaje y crecimiento	Procesos internos	Perspectiva clientes	Perspectiva financiera	Variable de salida
				Nivel de gestión
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Bajo	Bajo	Medio	Medio	Bajo
Bajo	Bajo	Alto	Alto	Medio
Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bajo

Igual que en la etapa anterior, la desfusificación se hará con el uso del método del centroide. El resultado obtenido a partir de la combinación de las perspectivas es un valor no difuso que facilita la toma decisiones estratégicas en relación con la gestión organizacional.

Por último, se definieron las funciones de pertenencia y las etiquetas lingüísticas de los conjuntos difusos asociados al nivel de gestión, las cuales tienen tres categorías difusas (Bajo, Medio y Alto).

Clasificación: Bajo [0; 0; 0.2; 0.5], Medio [0.2; 0.5; 0.8], Alto [0.5; 0.8; 1 1]

b. APLICACIÓN DEL MODELO

Para la aplicación del modelo se utilizaron datos teóricos que posibilitaron la comprensión y el análisis del mismo.

i. Desarrollo etapa 1

En la tabla 5 se muestran los indicadores utilizados en cada perspectiva con su respectivo valor y fuente de información.

Tabla 5. Indicadores para utilizar en la aplicación del modelo etapa 1

Perspectiva	Indicador	Valor	Fuente
Financiera	Margen de utilidad	6,48%	Balance y los estados de resultados.
	Capitalización	14,3%	Balance y los estados de resultados.
Cliente	Calidad y servicio (FES y DES)	87%	Encuesta de satisfacción
	Satisfacción del cliente	95%	Encuesta de satisfacción
Procesos internos	Pérdidas técnicas y no técnicas	50%	Equipo de medición de energía
	Productividad	80%	Informe de distribución de energía
	Control y mantenimiento	85%	Informes de mantenimiento
Aprendizaje/ Crecimiento	Capacitación	35%	Pruebas psicotécnicas
	Competencias	4,25	Pruebas psicotécnicas
	Crecimiento personal	30%	Pruebas psicotécnicas

Consecuente con los datos anteriores se obtuvieron los niveles de gestión para cada perspectiva. (Ver figura 4). En la Tabla 6 se resumen los resultados de la primera etapa.

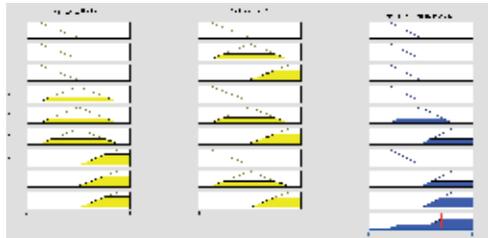


Fig. 4. Resultado de la relación de los indicadores y la perspectiva financiera

Tabla 6. Indicadores para utilizar en la aplicación del modelo etapa 2

Perspectiva	Nivel de gestión
Financiera	69,8%
Clientes	87,5%
Procesos internos	74,1%
Aprendizaje y crecimiento	45,8%

ii. Desarrollo etapa 2

Los niveles de gestión de cada perspectiva, obtenidos en el paso anterior, son el insumo principal para iniciar con la segunda fase. El resultado en el nivel de gestión es del 68%, lo que arroja información relevante que permite monitorear el comportamiento de los procesos que inciden en esta variable. Además, se facilita la toma de decisiones más acertadas y se mejoran las falencias de los procesos y aumenta el nivel competitivo de las organizaciones.

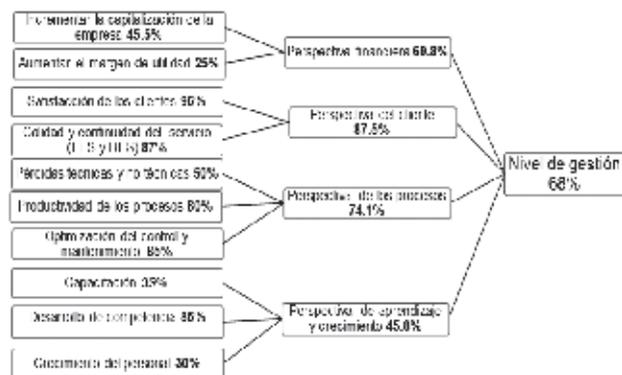


Fig. 5. Resumen de resultados

6. CONCLUSIONES

- Evaluar el nivel de gestión en una empresa es una tarea compleja y llena de subjetividades; sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio demuestran que se pueden tener mecanismos de fácil manejo como el Balance

Scorecard y la lógica difusa, los cuales posibilitan realizar un análisis de la información más acertado para la toma de decisiones.

- Los indicadores asociados con el desempeño de los empleados o la satisfacción de los clientes pertenecen al grupo de indicadores cuyo componente subjetivo es alto. Suele ser confuso y poco práctico el hecho de integrar este grupo de indicadores en un único modelo que permita tener una percepción más sistémica de la compañía.
- El modelo presentado en este artículo resulta ser útil y de fácil manejo. Los resultados obtenidos demuestran que esta integración es posible y que el 68% en el nivel de gestión, además de ser considerado alto o bajo, tiene una mayor validez por usar datos precisos y difusos para su cálculo, pero igualmente relevantes.

7. REFERENCIAS

- [1] Kaplan, R., & Norton, D. (1992). *Cuadro de Comando Integral* (The Balanced Scorecard). Barcelona, España: Ediciones Gestión 2000.
- [2] Vergara, H. (2005). *El Balanced Scorecard aplicado en áreas de indemnizaciones de seguros generales en aseguradora Colseguros S.A.* (Tesis para las Maestría en Administración. Escuela de Administración y Finanzas. Universidad de Eafit Medellín, Colombia).
- [3] Zadeh, L. (1975). Calculus of Fuzzy Restrictions. En L. Zadeh, K. Fu, K. Tanaka & M. Shimura (Eds.), *Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes* (pp 2-79). New York, Academic Press Inc.
- [4] Arango, M. Serna, A., & Pérez, G. (2008). Aplicaciones de lógica difusa a las cadenas de suministro. *Avance en Sistemas e Informática*, 5 (3), pp. 117-126.
- [5] Jang, J., Mizutani E., & Sun, C. (1997). *Neuro fuzzy and soft computing a computational approach to learning and machine intelligence*. New York: Prentice hall.
- [6] Correa, J. (2004). *Aproximaciones metodológicas para la toma de decisiones, apoyadas en modelos difusos* (Tesis para la Maestría en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia).
- [7] Valenzuela, J. (2008). *Diseñando un sistema de información integrado de gestión de indicadores con "factor difuso" para el mejoramiento*

- continuo de los procesos*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
- [8] Mallo, P., Galantema, M., Pascual, M., Morettini, M., & Buseto, A. (2006). Aplicación de herramientas borrosas al balance Scorecard. *Revista Costos y Gestión*, 61, pp. 12-19.
- [9] Nissen, V. (2005). *Die fuzzy Balanced Scorecard*. Technical Report 2005-01, Technische Universität Ilmenau Germany, Institut für Wirtschaftsinformatik.
- [10] Bodillo, F., Delgado, M., Gómez, J., & López, E. (2009). A semantic fuzzy expert system for a fuzzy Balanced Scorecard. *Expert System with Application*, 36(1), pp. 427-433.
- [11] Mallo, P., Galantema, M., Pascual, M., Morettini, M., & Buseto, A. (2005, 16 de Noviembre). La medición de variables cualitativas en el Balance Scorecard. Un aporte de la lógica difusa. En “*Congreso metropolitano en Ciencias Económicas*”, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.
- [12] Cogollo, J. (2010). *Diseño metodológico para la implementación del sistema de indicadores de desempeño de la cadena de suministros en un astillero colombiano en condiciones de incertidumbre*. (Tesis para la Maestría en Ingeniería Administrativa, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia)

ECONOMÍA COMPUTACIONAL BASADA EN AGENTES

AGENT-BASED COMPUTATIONAL ECONOMICS

Msc(c) Fabián A. Giraldo Giraldo
Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia

Ph. D. Jonatan Gómez Perdomo
Universidad Nacional de Colombia. Medellín,
Colombia

(Recibido 21/01/2012. Aprobado el 19/03/2012)

Resumen. El artículo tiene como objetivo mostrar varios trabajos de investigación sobre un enfoque de simulación denominado Economía computacional basada en agentes, el cual rechaza las asunciones de los enfoques de estudio tradicionales que indican que la economía es un sistema cerrado que eventualmente logra un estado de equilibrio, en el que deben realizarse supuestos de racionalidad perfecta e inversiones homogéneas para que los modelos sean tratados analíticamente. En su lugar, ve a la economía como un sistema complejo, adaptativo y dinámico. Este nuevo enfoque permite usar la simulación basada en agentes para comprender que varios agentes económicos (firmas, grupos económicos) con sus propias reglas y objetivos, son capaces de interactuar entre sí y con su entorno para obtener comportamientos emergentes que no son explicables directamente de las propiedades de los agentes individuales.

Palabras clave: Economía; Evolución de Reglas; Modelamiento; Simulación.

Abstract. This article aims to show different research that have been developed on simulation approach called, agent-based computational economics, which rejects the assumptions of traditional approaches that indicate that the economy is a closed system eventually achieves a state equilibrium, in which assumptions of rationality perfect, homogeneous investments, among others, be made to allow the models are analytically tractable, instead, sees the economy as a complex adaptive system and dynamic. This new approach allows the use of agent-based simulation for the purpose of understand how various economic agents (firms, business groups) with their own rules and objectives are able to interact with each other and with their environment, resulting emergent behaviors not end be explained directly from the properties of the individual agents.

Keywords: Economic, Rules Evolution, Modeling, Simulation.

1. INTRODUCCIÓN

La economía evolucionista es un área del pensamiento económico que rechaza las asunciones tradicionales, las cuales indican que la economía es un sistema cerrado que eventualmente logra un estado de equilibrio en el que supuestos de racionalidad perfecta e inversiones homogéneas, entre otras, deben hacerse para permitir la tratabilidad analítica. En su lugar, ve a la economía como un sistema complejo adaptativo y dinámico que trata de comprender el comportamiento emergente del sistema macroscópico, a partir de la dinámica microscópica de cada agente (humanos, firmas, mercado, etc.). El interés principal es encontrar las condiciones o reglas en las que el comportamiento del sistema se asemeje al comportamiento real [1].

Con el fin de comprender los comportamientos emergentes en los sistemas económicos, se han desplegado trabajos de investigación. Entre los enfoques propuestos, se encuentra la utilización de la simulación basada en agentes para configurar a los agentes diferentes estados, reglas y conductas, con el propósito de experimentar diversos escenarios del sistema y entender los comportamientos globales emergentes que surgen de las interacciones locales repetidas de agentes que buscan su beneficio particular.

Otras aproximaciones utilizan agentes integrados con algoritmos heurísticos y aprendizaje de máquina, con el objeto de evolucionar el comportamiento de los agentes en los sistemas económicos, de tal forma que se adapten al ambiente, a través de la evolución de reglas y estrategias.

El presente artículo tiene como objetivo mostrar los fundamentos básicos de la economía computacional basada en agentes y ver cómo los sistemas económicos son vistos como conocimiento basado en reglas que evolucionan en el tiempo y que pueden ser simulados en ambientes computacionales, en los cuales los agentes tienen la capacidad de adaptarse al ambiente con procesos de aprendizaje y evolución de reglas de comportamiento.

El artículo está organizado de la siguiente forma: la sección dos provee los elementos principales de la simulación de sistemas complejos; la sección tres presenta los elementos fundamentales de la economía computacional basada en agentes. En la sección cuatro se presenta la perspectiva de un siste-

ma económico como un proceso de conocimiento desde un enfoque macro, micro, y el enfoque meso. La sección cinco muestra trabajos de investigación relacionados con proceso de evolución de reglas y estrategias; en la sección seis se muestran plataformas de simulación basadas en agentes; por último, se las conclusiones.-

2. SIMULACIÓN DE SISTEMAS COMPLEJOS

En años recientes la ciencia de la complejidad ha sido reconocida por múltiples académicos en disciplinas científicas como la física, la economía, las ciencias de la computación y ciencias sociales, por su capacidad para modelar sistemas no lineales [2]. Dicha ciencia, estudia los sistemas como un conjunto de componentes interconectados cuyo comportamiento no es explicable exclusivamente por las propiedades de los mismos, más bien, el comportamiento emerge de los componentes interconectados. Con el objeto de modelar los sistemas complejos, se han desarrollado paradigmas de modelamiento y simulación entre los que se encuentran la dinámica de sistemas [3] y la simulación basada en agentes [4].

La simulación basada en agentes es un paradigma de modelamiento que se caracteriza por comprender que varios agentes (autónomos, heterogéneos e independientes), con sus propias metas y objetivos, son capaces de realizar interacciones entre sí y con su entorno. Para el caso particular de esta revisión, el objetivo de la simulación basada en agentes es tratar de inferir las propiedades globales de todo el sistema o identificar los patrones de comportamiento emergentes a partir de las reglas que determinan el comportamiento individual de los agentes. El comportamiento global del sistema no es abstraído sino que emerge del proceso de inferencia cuando se ejecuta el modelo [4].

Un escenario de interés particular en el cual la simulación basada en agentes es utilizada es la economía computacional, un área del pensamiento económico que rechaza los supuestos tradicionales que indican que la economía es un sistema cerrado que eventualmente logra un estado de equilibrio y en la que supuestos de racionalidad perfecta, inversiones homogéneas, entre otros, deben hacerse para permitir el análisis matemático [5]. En su lugar, esta área del pensamiento ve la economía como un sistema complejo adaptativo y dinámico que trata de comprender el comportamiento emergente del sistema macros-

cópico, a partir de la dinámica microscópica de cada agente (humanos, firmas, mercado, etc.) [6], [7].

Existen características que sustentan por qué la economía puede ser vista como un sistema complejo adaptativo; entre ellas, se encuentran en [8]: las interacciones entre agentes heterogéneos son dispersas, no hay controlador global activo; la coordinación emerge por mecanismos de competencia y coordinación entre agentes; existe una organización jerárquica que permite comunicarse con unidades económicas de diferente nivel; los agentes computacionales, tal como sucede en el mundo real, se adaptan continuamente como producto de la experiencia acumulada; los agentes continuamente innovan con las regularidades que logran abstraer del mundo en el que actúan. Por último, los agente actúan fuera del equilibrio dinámico, es decir, los agentes, por su interacción, mejoran constantemente las acciones en un ambiente económico.

3. ECONOMÍA COMPUTACIONAL BASADA EN AGENTES

Las economías son sistemas dinámicos complejos en los que los agentes interactúan en el contexto local y dan lugar a regularidades globales, tales como: tasa de empleo y crecimiento, distribución de ingreso, tasas de desempleo, tasas de inflación, etc. Estas regularidades globales, a su vez, retroalimentan la determinación de las interacciones locales [9], [10].

La economía computacional basada en agentes (ACE) estudia los procesos económicos modelados como sistemas dinámicos de agentes que interactúan. Ejemplos de posibles agentes incluye: individuos (consumidores, trabajadores), grupos sociales (familias, firmas, agencias gubernamentales), instituciones (sistemas reguladores del mercado), entidades biológicas (cultivos, ganados, bosques) y entidades físicas (infraestructura, clima y regiones geográficas) [11].

La investigación actual sobre ACE está encaminada hacia los siguientes aspectos: 1). Comprensión empírica: porque particularidades globales evolucionan y persisten a pesar de la ausencia de control y planificación centralizada; 2). Comprensión normativa: determinar cómo pueden utilizarse los modelos basados en agentes como laboratorios para el descubrimiento de buenos diseños económicos. El objetivo

es evaluar propuestas de diseños de políticas económicas, instituciones, procesos y cómo son deseables socialmente en el tiempo; 3). Visión cualitativa y generación de teorías: cómo pueden comprenderse los sistemas económicos más plenamente a través de un examen sistemático de los comportamientos dinámicos potenciales en condiciones iniciales especificadas [11].

Sin embargo, existen líneas de investigación bien definidas en el campo de la economía computacional basada en agentes, entre las que se destacan [10], [12]:

Aprendizaje: la idea principal es buscar cómo modelar la mente de los agentes computacionales. Los investigadores en ACE han usado un amplio rango de algoritmos para los procesos de aprendizaje en los agentes. Entre los principales algoritmos se encuentran: aprendizaje por refuerzo [13], redes neuronales [14], algoritmos genéticos [15], programación genética [16] y otros algoritmos de computación evolutiva que permiten capturar aspectos de aprendizaje inductivo.

Evolución de normas de comportamiento: se trata de estudiar la evolución de la cooperación, a pesar de que el engaño produce ganancias inmediatas. La idea es estudiar qué papel juegan la reputación, la confianza, la reciprocidad, la venganza, el rencor y el castigo en juegos.

Formación de redes económicas: estudiar la manera en la que las interacciones en las redes económicas están determinadas por escoger de forma deliberada de los socios. Una de las preocupaciones clave en esta tarea, es la aparición de redes de comercio de compradores y vendedores que determinan sus socios de forma adaptativa, sobre la base de experiencias pasadas.

Modelamiento y organizaciones: estudia la manera de definir una estrategia óptima para alcanzar las metas específicas.

Laboratorio computacional: un laboratorio computacional es un entorno de trabajo preconstruido, con una interfaz gráfica que permite realizar experimentaciones en un dominio específico para estudiar sistemas de múltiples agentes que interactúan por medio de ejercicios computacionales controlados y replicables [17]. Entre los temas de investigación para la construcción de laboratorios computacio-

nales se encuentran: construcción de laboratorios computacionales para cada aplicación, construcción de plataformas computacionales multifacéticas, mecanismos para hacer validaciones de resultados con datos obtenidos por otras fuentes.

Adicionalmente, un aspecto relevante que se debe considerar en los laboratorios computacionales es conocer con qué grado de flexibilidad pueden ser especificados los esquemas de aprendizaje para los agentes en laboratorios computacionales; a pesar de que muchos estudios tienden a realizar sus algoritmos de aprendizaje en forma de simples ecuaciones de actualización con parámetros fijos, la evidencia acumulada indica que esos algoritmos no funcionan bien en todas las situaciones. Un mejor camino para proceder es permitir que los agentes aprendan a aprender en los laboratorios computacionales.

4. MESO, MACRO Y MICRO REGLAS

En [18], [19], [20], [21] se presenta un entorno de trabajo analítico en el ámbito de la economía evolutiva con una arquitectura micro, meso y macro. La idea central es definir un sistema económico como una población de reglas, una estructura de reglas y un proceso de reglas. El nivel meso se concibe como el conjunto de reglas que gobiernan los sistemas, es decir, un sistema económico basado en reglas está contenido en el meso. El nivel micro se refiere a los individuos portadores de reglas y el sistema que organizan. El nivel macro consiste en la población de estructuras de los sistemas de meso; en otras palabras, indica el orden o la coordinación entre las poblaciones de reglas o unidades meso. El resultado final que proponen es un marco de trabajo coherente para el análisis ontológico de la evolución económica, en el que los cambios en el meso dominio implican entender los micro procesos y las macro consecuencia involucradas.

Para explicar el entorno de trabajo, parten de la discusión que los métodos tradicionales que exponen los procesos económicos, realizan supuestos para permitir la tratabilidad analítica e indican que dicha aproximación está basada en tratamientos algebraicos que suponen que una actitud verdaderamente científica y filosófica de la economía debe estar apoyada en la contemplación de la lógica matemática. La expresión natural de dicho tratamiento algebraico en economía es la sobreposición de proposiciones formales micro-económicas, en la cual es necesario idealizar estados

estáticos para deducir consecuencias macroscópicas. A partir de lo anterior, proponen una manera de pensar diferente sobre las cuestiones fundamentales de la coordinación, el cambio de la economía y adaptan la perspectiva que la evolución económica es un crecimiento de procesos de conocimiento. Como consecuencia directa, indican que un sistema económico puede ser visto como una estructura compleja de reglas que evolucionan sobre un largo periodo de tiempo. El proceso por el cual nuevas reglas son originadas, adaptadas y difundidas en un sistema económico, constituye la fuerza motriz de la economía evolucionista.

El punto esencial para comprender este nuevo enfoque es que el nivel macro no es un comportamiento de agregación de los micro, elemento considerado en las interpretaciones tradicionales, sino, más bien, que ofrece una perspectiva del sistema meso visto como un conjunto, del mismo modo, micro no es la esencia reducida de un sistema económico, mirándolo de abajo hacia arriba, sino que debe ser entendido desde la perspectiva meso, cuando éste es visto en términos de sus partes constituyentes.

El crecimiento del conocimiento tiene aspectos relacionados con la micro organización de reglas y los aspectos macro asociados con la estructura de la población de reglas, pero últimamente la evolución económica ha sido vista como un proceso en el cambio de reglas y del sistema de reglas. Es decir, el meso cambio es el núcleo de la evolución económica y la dinámica meso es llamada la meso trayectoria. Una meso trayectoria puede ser vista como un proceso de tres fases: creación (emergencia), difusión (adaptación y adopción) y retención (mantenimiento) de una regla de un sistema económico. En la fase de creación, cada agente desarrolla una idea/regla que conduce al diseño de una nueva organización de personas, energía, materiales. En esta fase hay ideas y reglas, pero muchas de ellas no son viables. La fase de difusión involucra la adopción y adaptación de las reglas viables en el mundo de los contextos organizacionales. Así se encuentra una nueva organización micro y un meso orden en la economía que se evidencia en el mercado y estructura organizacional industrial.

5. EVOLUCIÓN DE REGLAS Y COMPORTAMIENTOS

La tarea del descubrimiento de reglas ha sido abordada desde diversos paradigmas: construcción de

árboles de decisión, aprendizaje inductivo y, recientemente, redes neuronales, algoritmos evolutivos [22], técnicas de co-evolución [23] y [24], programación genética [25] y programación genética gramatical [26].

A continuación, se presentan trabajos de investigación en el campo de la simulación basada en agentes que permite visualizar distintos enfoques de evolución de reglas de comportamiento de agentes económicos.

Clemens Van Dinther en [27], expone modelos de aprendizaje que pueden ser integrados en simulaciones económicas basadas en agentes con el fin de modificar el conjunto de reglas que poseen los agentes. Entre los métodos mencionados están: los algoritmos genéticos, técnicas de aprendizaje reforzado y redes neuronales vistas como sistemas clasificadores.

Un algoritmo genético puede ser comprendido como un modelo de interacción estratégica, es decir, que el agente debe tratar de buscar la mejor estrategia en un ambiente determinando. Por lo tanto, los algoritmos genéticos pueden ser asumidos como modelos de aprendizaje social (aprendizaje por interacción). Otra de las técnicas utilizadas es el aprendizaje reforzado, cuyo objetivo es que los agentes aprenden de los pagos recibidos por acciones pasadas.

Bell A en [13], propone un sistema de aprendizaje reforzado de reglas en un juego repetitivo. La idea principal es ver que los agentes aprenden de la interacción con su ambiente. Los agentes, en este enfoque, asocian premios con acciones sobre la base de acciones pasadas y luego trasladan esos premios en probabilidades para tomar esas acciones en un futuro. Dicha aproximación es adaptada en aprendizaje basado en agente en el contexto de los juegos, se presenta el problema del Farol o problema del bar Santafé, en los que los agentes (no existe proceso de comunicación) deben decidir si ir o no ir al bar y, de acuerdo con la cantidad de agentes, se abre o no el bar, por lo tanto, reciben un pago por la acción tomada en un instante de tiempo. Los resultados presentados evidencian la rápida convergencia del aprendizaje reforzado al comportamiento promedio agregado de los agentes, cuando los contrincantes son adaptativos.

Shu-Heng Chen en [16], presenta varios casos de aplicación del uso de la programación genética y

programación genética gramatical en economía computacional basada en agentes. Entre los trabajos mencionados por el autor se encuentran: el desarrollado por Duffy y Engle-Warnick, en el que se usa programación genética para inferir estrategias en experimentos de decisión económica específicamente. Fue aplicado para la evolución de estrategias en el juego económico Ultimátum; los resultados obtenidos muestran la capacidad del algoritmo para generar reglas de decisión que permiten vencer al contrincante.

Robert Axelrod en [28], propone el uso de algoritmos genéticos para evolucionar estrategias en el dilema del prisionero iterado. Planteó la utilización de esquemas de codificación binaria tomando en consideración juegos previos y, a partir de esta información, obtener reglas que especifican la acción que se ha de tomar. Las estrategias obtenidas como producto de la evolución son similares a TIC FOR TAC; es decir, que existe cooperación mutua y castigo por deserción. El esquema propuesto por Axelrod fue usado posteriormente por Errity A en [29]; sin embargo, este último realizó una modificación en la codificación de los tres primeros movimientos con el fin de utilizar movimientos previos de las jugadas, en lugar de jugadas aleatorias pre-configuradas.

Nelis F et al en [30], [31] presentan la aplicación de técnicas de coevolución basados en Particle Swarm Optimization (PSO) para evolucionar estrategias en el dilema del prisionero iterado y se usan tres diferentes técnicas de coevolución: una red neuronal entrenada con PSO, que se utiliza para predecir la próxima acción para ejecutar, un enfoque binario del PSO en el que la partícula representa un estrategia de juego completa y, finalmente, un enfoque que explora las estructuras simétricas de las estrategias creadas por los humanos. Los resultados experimentales indican que el enfoque de redes neuronales es capaz de inducir altos niveles de cooperación; sin embargo, en algunas ocasiones, podrían conducir a colapsos catastróficos por el despliegue de estrategias débiles.

Floortje Alkemade en [32], presenta varios modelos entre los cuales se encuentran: el oligopolio de Cournot, que tiene como objetivo modelar la búsqueda y aprendizaje del comportamiento de agentes económicos. También presenta un ambiente de simulación de duopolio de Cournot, donde los agentes toman decisiones, hacen suposiciones de las estrategias del otro agente en el mercado. En este caso hacen

uso de un modelo de coevolución, en el cual cada firma tiene su población de estrategias y un algoritmo genético es aplicado en cada una de las firmas por separado. Los resultados indican que existe una convergencia hacia el equilibrio competitivo.

Por último, presentan el uso de algoritmos genéticos para la difusión de información sobre una red social, con el fin de que las firmas puedan aprender acerca de la estructura de la red y las características del consumidor cuando la información habilitada es limitada. Se usa esta información para evolucionar estrategias de marketing satisfactorias. Presentan como caso la aplicación y el problema de decisión de una firma para seleccionar la estrategia publicitaria e introducir con éxito un nuevo producto en una red de consumidores [33].

Thomas Riechmann en [34], presenta la aplicación de los algoritmos genéticos en el modelamiento y análisis de procesos de aprendizaje económico por medio de simulaciones por computador. En su estudio muestra la aplicación de la economía computacional para el modelamiento de problemas económicos, específicamente, de un modelo de monopolios regionales cuyo objetivo es determinar la cantidad de bien para producir en una región y maximizar los beneficios. Los resultados obtenidos por los algoritmos genéticos permiten conocer a las firmas cuánto producir y ofertar para la venta. Como conclusión final, luego del experimento, se indica que los algoritmos genéticos pueden ser utilizados como mecanismos de aprendizaje de estrategias en problemas económicos.

Ralf Herbrich et al en [36], hacen un acercamiento a la aplicación de las redes neuronales en la economía. En el campo de la simulación basada en agentes, las redes neuronales pueden ser consideradas como agentes que aprenden dependencias de su ambiente y, por lo tanto, infieren estrategias de comportamientos basado en un número limitado de observaciones.

Entre las aplicaciones de las redes neuronales en la economía, mencionan: la clasificación de agentes económicos (clientes, compañías), la predicción de series de tiempo y el modelamiento de procesos de aprendizaje de agentes adaptativos artificiales con racionalidad limitada.

En el caso del modelamiento de procesos de aprendizaje, Thomas Sargen en [35], propone un trabajo en el que las neuronas de la red son interpretadas como agentes, quienes actualizan su percepción del

ambiente de acuerdo con la información que reciben; sus decisiones (salidas de las neuronas) ejercen una influencia sobre el ambiente que, al tiempo, retroalimenta al agente.

Francesco Luna en [14], se concentra en el problema del rol de las instituciones en un proceso de aprendizaje en agentes económicos. En este trabajo se utiliza una red neuronal para modelar el proceso de aprendizaje, y se utiliza un algoritmo genético para obtener los pesos en esta red de la mejor forma posible para optimizar el aprendizaje.

Harrald y Fogel en [21] evolucionaron estrategias en el dilema del prisionero iterado con perceptores multicapa Feedforward. Todas las redes juegan con otras en una competición todos contra todos, los juegos duraban 151 movimientos y la medida de rendimiento usada fue el promedio de los pagos obtenidos en los movimientos. Luego, las redes fueron ordenadas de acuerdo con la medida de rendimiento y las mejores (mitad), fueron seleccionadas para ser padres en la siguiente generación. Los resultados obtenidos indican que para converger en las estrategias buscadas se requieren muchas generaciones para obtener estrategias con tendencia a cooperar.

Richard Lum et al en [37], hace uso de NEAT (Neuroevolution of Augmenting Topologies) para entrenar un jugador para el dilema del prisionero iterado. NEAT es una técnica de evolución de redes neuronales basado en algoritmos genéticos, en la que se puede evolucionar la topología de la red y los pesos de las conexiones.

Para realizar el modelamiento indica que el proceso de adaptación a las estrategias variadas del oponente debe usar la historia de movimientos anteriores. En el caso puntual de este trabajo se observaron los últimos cinco movimientos, tanto del contrincante como los propios.

Para la obtención de la medida de rendimiento (*fitness*), de cada una de las redes neuronales se planteó un torneo igual al de Axelrod [26] cuando evolucionó estrategias con algoritmos genéticos, pero en este caso se consideraron las siguientes estrategias: TIC FOR TAC, TIC FOR TWO TAC, Always cooperate, Always defect. Los resultados obtenidos indican que las redes neuronales obtenidas se adaptaban a las estrategias de los contrincantes puesto que se obtenían buenos pagos en cada uno de los enfrentamientos.

Existen otros juegos no cooperativos que han sido objeto de estudio, Browning et al en [38], presentan un algoritmo genético para estudiar la evolución del comportamiento social en juegos repetitivos como juego de la gallina, la batalla de los sexos, caza del ciervo. Los resultados muestran la emergencia de la cooperación cuando existe reciprocidad en los juegos dilema del prisionero y el juego de la gallina.

6. PLATAFORMAS DE MODELAMIENTO PARA SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES

Chris Langton, Nelson Minar y Roger Burkhard en [39], desarrollan el sistema de simulación Swarm, un conjunto de herramientas para la simulación de sistemas multigente.

Entre los trabajos destacados en el ámbito de la economía computacional, se encuentran: el modelamiento basado en agentes para la evolución de sistemas eco-industriales, la meta del estudio es analizar las condiciones de sostenibilidad, es decir, conocer en qué momento los recursos se agotan. K. Cao et al en [40], presentan como caso de estudio un modelo de un parque eco-industrial para la industria química implementado en el entorno de simulación basado en agentes Swarm. Otro de los trabajos, en [41] es un modelo que ilustra la emergencia y difusión de los estándares de software. La pregunta práctica para responder en este esquema consiste en cuantificar los beneficios de la estandarización.

El Departamento de inteligencia artificial de la Universidad de Wurzburg desarrolla SeSam (Shell for Simulated Agent Systems), el cual es definido como un ambiente genérico para modelar y experimentar con sistemas basados en agentes [42]. SeSam ha sido utilizado para la evolución de sociedades, para ello, integraron en los agentes la capacidad para evolucionar sus reglas de comportamiento con algoritmos genéticos y buscar los mejores parámetros en gráficos parametrizados de actividad [43].

Uri Wilensky en [44], [45], toma las características de StartLogoT (Evolución de StartLogo) y diseña NetLogo: un ambiente de programación multiagente multiplataforma para la simulación de fenómenos complejos que evolucionan con el tiempo. Fue diseñada como plataforma educativa e investigativa y es ampliamente usada en varias disciplinas.

El grupo de Ciencias sociales de la Universidad de Chicago desarrollan RePast (Recursive Porous Agent Simulation Toolkit) [46], que es un entorno de trabajo extensible para la simulación de agentes. Entre los trabajos de este entorno, se encuentra la construcción de un laboratorio computacional basado en agentes para ensayar la solvencia económica de la venta al por mayor en mercados eléctricos diseñados. La idea de este laboratorio es probar en qué medida el mayorista (Wholesale Power Market Platform) es capaz de mantener el mercado ordenado y eficiente en el tiempo, a pesar de los intentos de los participantes en el mercado por obtener una ventaja individual a través de precios estratégicos [47], [48] [49].

Andrew Begel, en 2004, propone una extensión de StartLogo, al que denomina StartLogo TNG (The Next Generation) [50], que provee dos significativos avances con respecto a su versión previa. Primero, la programación es realizada con bloques de programación gráfica en lugar de comandos basados en texto y, segundo, habilita la representación 3D de los agentes en el mundo.

7. CONCLUSIONES

A partir de la presentación de las perspectivas que son involucradas en economía computacional basada en agentes, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

El modelamiento de un sistema económico, como un sistema complejo adaptativo, permite descubrir nuevos patrones emergentes de la interacción de agentes económicos individuales que actúan en un ambiente, debido a que se omiten los supuestos tradicionales para permitir tratabilidad analítica. En muchos procesos cotidianos tener un conocimiento de las relaciones globales entre conceptos limita los procesos de simulación puesto que, generalmente, se conocen los comportamientos individuales de los agentes involucrados, lo que significa que éste es un elemento clave de la simulación basado en agentes y se pueden buscar explicaciones de procesos globales en sistemas económicos con poca información.

La integración de paradigmas de simulación basada en agentes, economía y técnicas como: algoritmos evolutivos y aprendizaje reforzado, permite que los agentes en un proceso de simulación puedan descubrir las reglas individuales y de interacción que llevan

a un sistema económico a una situación particular. Se podrían inferir fallas, políticas y estrategias que se deberían tener en los agentes para lograr un comportamiento global buscado. Lo anterior permitiría visualizar la economía evolutiva desde una perspectiva micro, meso y macro.

Se requieren plataformas de modelamiento de sistemas basados en agentes, que tengan como núcleo fundamental mecanismos de evolución (adaptación) de comportamiento de los agentes, con el uso de estrategias evolutivas y técnicas de aprendizaje de máquina, en los cuales modeladores (economistas) con un lenguaje simple puedan simular diferentes procesos, con el fin de explicar por qué ciertos comportamientos económicos permanecen en el tiempo, a pesar de que no exista control y planificación centralizada para simular nuevos escenarios económicos y evaluar propuestas de políticas socialmente aceptables.

REFERENCIAS

- [1] K. Dopfer, J. Foster, J. Potts. "Micro-meso-macro", *Journal of Evolutionary Economics*, no. 14, pp 263-279, 2004.
- [2] C.M. Macal, M.J. North, "Agent-based modeling and simulation", *Winter Simulation Conference*, pp. 86-98, 2009.
- [3] L.R Izquierdo, J.M Galan, J.I Santos, "Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas", *Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales* 1, no. 16, 85-112, 2008.
- [4] H. Scholl, "Agent based and system dynamics modeling: A call for cross study and joint research", *Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-34)-Volume 3*, IEEE Computer Society, pp. 3003, 2001.
- [5] K. O. Faxen, "An evolutionary theory of economic change", *Journal of Economic Behavior & Organization* 6, no. 1, 92-94, 1985.
- [6] M. Fontana, "Can neoclassical economics handle complexity? the fallacy of the oil spot dynamic", *Journal of Economic Behavior Organization* 76, no. 3, 584-596, 2010.
- [7] Richard R. Nelson and Sidney G. Winter, "Evolutionary theorizing in economics", *Journal of Economic Perspectives* 16, no. 2, 23-47, 2002.
- [8] Y. Chen, X. Su, J. Rao, H Xiong, "Agent-based microsimulation of economy from a complexity perspective", 2000.
- [9] D.F. Batten, "Discovering artificial economics", Westview Press, 2000.
- [10] L. Tesfatsion, "Agent-based computational economics", ISU Economics Working Paper, 2003.
- [11] L. Tesfatsion, "Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory", *Handbook of Computational Economics*, vol. 2, Elsevier, pp. 831-880, 2006.
- [12] L. Tesfatsion, "Agent-based computational economics: Modeling economies as complex adaptive systems", *Staf general research papers*, Iowa State University, Department of Economics, 2008.
- [13] A. M. Bell, "Reinforcement learning rules in a repeated game", *Computational Economics*, pp 89-110, 2001.
- [14] F. Luna, "Computable learning, neural networks and institutions", Tech. report, 1996.
- [15] Dawid H, "Adaptive learning by genetic algorithms: Analytical results and applications to economic models", 1st ed., Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 1999.
- [16] S.Chen, "Fundamental issues in the use of genetic programming in agent-based computational economics", working paper, ai-econ research, 2001.
- [17] Y. Shun-kun, Y. Jia-hai, "Agent-based computational economics: methodology and its application in electricity market research", *Power Engineering Conference*, 2005. IPEC 2005. The 7th International, 2005.
- [18] K. Dopfer, "The economic agent as rule maker and rule user: Homo sapiens oeconomicus", *Journal of Evolutionary Economics* 14 (2004), no. 2, 177-195.
- [19] K. Dopfer, J. Foster, J. Potts, "Micro-meso-macro", *Journal of Evolutionary Economics* 14 (2004), no. 3, 263-279.
- [20] K. Dopfer, J. Potts, "Evolutionary realism: a new ontology for economics", *Journal of Economic Methodology* 11 (2004), no. 2, 195-212.
- [21] J.S. Metcalfe, J. Foster, "Evolution and economic complexity", 2004.
- [22] G Pappa, A. Freitas, "Automatically evolving rule induction algorithms tailored to the prediction of postsynaptic activity in proteins", *Intell. Data Anal.* 13, no. 2, pp. 243-259, 2009.

- [23] S Yew and C. Xin, "Multiple Choices and Reputation in Multiagent Interactions", *Evolutionary Computation*, IEEE Transactions, 2007
- [24] Y. Yau and J. Teo, "An Empirical Comparison of Non-Adaptive, Adaptive and Self-Adaptive Co-evolution for Evolving Artificial Neural Network Game Players". 2006 IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS 2006), pp. 405-410, Bangkok, Thailand, 2006.
- [25] D. Rivero, J. Dorado, J. Rabunal, A. Pazos, "Generation and simplification of Artificial Neural Networks by means of Genetic Programming", *Neurocomputing*, Brazilian Symposium on Neural Networks (SBRN2008), No. 73, Issues 16-18, pp. 3200-3223, 2010
- [26] I. Tsoulos, D. Gavrilis, E. Glavas, "Neural network construction and training using grammatical evolution", *Neurocomputing*, Machine Learning for Signal Processing (MLSP 2006) / Life System Modelling, Simulation, and Bio-inspired Computing (LSMS 2007). No 72, Issues 1-3, pp. 269-277, 2008
- [27] D. Clemens, "Agent-based simulation for research in economics", *Handbook on Information Technology in Finance*, International Handbooks on Information Systems, Springer Berlin Heidelberg, pp. 421-442, 2008.
- [28] M. Melanie, "An Introduction to Genetic Algorithms (Complex Adaptive Systems)", third printing ed., A Bradford Book, 1998.
- [29] A. Errity, "Evolving strategies for the prisoner's dilemma", July 2003.
- [30] N. Franken, A.P. Engelbrecht, "Particle swarm optimization approaches to coevolve strategies for the iterated prisoner's dilemma", *Evolutionary Computation*, IEEE Transactions on 9, 2005
- [31] N. Franken, A.P. Engelbrecht, "Pso approaches to coevolve ipd strategies", *Evolutionary Computation*, 2004.
- [32] F. Alkemade, "Evolutionary agent-based economics", Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- [33] F Alkemade, H La Poutre, H Amman, "On social learning and robust evolutionary algorithm design in economic games", *Evolutionary Computation*, 2005. The 2005 IEEE Congress on, No. 3, pp. 2445 -2452, sept. 2005.
- [34] T. Riechmann, "Learning in economics: Analysis and application of genetic algorithms", Springer, 2001
- [35] R. Herbrich, M. Keilbach, T. Graepel, P. Bollmann-Sdorra, K. Obermayer, "Neural networks in economics: Background, applications and new developments", in *Advances in Computational Economics: Computational Techniques for Modelling Learning in Economics*, Kluwer Academics, pp. 169-196, 1999.
- [36] C. In-Koo, "Bounded rationality, neural network and folk theorem in repeated games with discounting", *Economic Theory* 4, pp. 935-957, 1994.
- [37] R Lum, M Meighan, H Alfaro, "Using neat to train a player for the iterated prisoner dilemma", *Machine Learning FALL*, 2008.
- [38] L Browning, A Colman, "Evolution of coordinated alternating reciprocity in repeated dyadic games", *Journal of Theoretical Biology*, pp. 549-557, 2004.
- [39] N. Minar, R. Burkhart, C. Langton, M Askenazi, "The swarm simulation system: A toolkit for building multi-agent simulations", Working papers, Santa Fe Institute, 1996.
- [40] K. Cao, X. Feng, H Wan, "Applying agent-based modeling to the evolution of eco-industrial systems", *Ecological Economics*, 2009.
- [41] T. Stockheim, M. Schwind, and W. Konig, "A model for the emergence and diffusion of software standards", *System Sciences*, Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on, 2003.
- [42] C. Triebig, T. Credner, F. Kigl, P. Fischer, T. Leskien, A. Deppisch, S. Landvogt, "Simulating automatic high bay warehouses using agents", *Multi-Agent Systems and Applications IV*, Lecture Notes in Computer Science, No. 3690, Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 653-656.
- [43] O. Christoph, A. Hornlein, F. Klugl, "Evolutionary optimization of societies in simulated multi-agent systems", 2000.
- [44] S. Tisue and U. Wilensky, "NetLogo: a simple environment for modeling complexity", 2004.
- [45] P. Blikstein, D. Abrahamson, U. Wilensky, "Netlogo: Where we are, where we're going", In *Proceedings of the annual meeting of Interaction Design and Children*, Press, 2005.

- [46] A. T. Crooks, "The repast simulation/modelling system for geospatial simulation", 2007.
- [47] D. Koesrindartoto, Junjie Sun, and L. Tesfatsion, An agent-based computational laboratory for testing the economic reliability of wholesale power market designs, Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE, june 2005, pp. 2818-2823 Vol. 3.
- [48] S. Widergren, J. Sun, and L. Tesfatsion, Market design test environments, Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, 0-0 2006, p. 6 pp.
- [49] K. Boer-Sorban K, "Agent-Based Simulation of Financial Markets: A Modular, Continuous-time Approach", Doctoral Thesis, Erasmus Research Institute of Management (ERIM), 2008
- [50] E Klopfer, H. Scheintaub, "StarLogo TNG: science in student-programmed simulations". In Proceedings of the 8th international conference on International conference for the learning sciences (ICLS'08), No. 3. International Society of the Learning Sciences 59-60, 2008.

LA INTERCEPTACIÓN DE DATOS INFORMÁTICOS ENTRE LA LICITUD Y LO DELICTUAL

DATA INTERCEPTION RECORDS BETWEEN LAWFULNESS AND DELICT

Esp. Ana María Mesa Elneser

*Fundación Universitaria Luis Amigó
Medellín, Colombia*

Esp. Jorge Eduardo Vásquez Santamaría

*Corporación Universitaria de Colombia – IDEAS
Medellín, Colombia*

(Recibido el 18/02/2012. Aprobado el 19/03/2012)

Resumen. El trabajo tiene como objeto hacer una reflexión sobre el límite legal e ilegal en actividades de interceptación de datos informáticos, resultado de la investigación interinstitucional en el campo probatorio en interrelación con la comisión de delitos informáticos proferidos mediante la Ley 1273 de 2009 en Colombia, el artículo expone los resultados alcanzados en torno a la presentación del delito consagrado en el artículo 269 C como parte del escenario necesario para comprender el alcance conductual y la consecuencia jurídica en tipos penales con doble regulación, esto es, campo físico tradicional y campo digital, que son los que demandan la existencia de una evidencia digital y facilitan su soporte probatorio. Finalmente cabe resaltar que el trabajo metodológico aplicado en la investigación fue dado con la técnica de rastreo documental, fichaje y análisis hermenéutico de la norma en correlación con la doctrina generalmente aceptada como fuente material de derecho, de ello se derivó el presente escrito en el cual se contiene solo una de las figuras legales investigadas durante el proyecto de investigación interinstitucional dado a instancias de la universidad EAFIT, Fundación Universitaria Luis Amigó y Fundación Universitaria de Colombia IDEAS en el año 2011 y parcial del 2012.

Palabras clave: Informática; Delito; Interceptación; Dato informático; Sistema informático; Orden judicial.

Abstract. With the overall aim of making a reflection on the legal limit and illegal activities interception of computer data, resulting from research agency in the field of evidence developed in interaction with the computer crimes law proffered by 1273 of 2009 in Colombia the article presents the results obtained about the presentation of the crime of computer data interception as part of the stage necessary for understanding the scope behavioral and legal consequence criminal offenses dual regulation, ie traditional physical field digital field , the latter being those who demand the existence of digital evidence, in any case allowing his supporting evidence. Finally it should be noted that the work methodology applied in the research was given to the documentary screening technique, signing and hermeneutic analysis of the standard correlation with generally accepted doctrine as a material source of law, it was derived in the present paper which it contains only one of the legal concepts investigated during the research project agency given instances EAFIT university, Fundación Universitaria Luis Amigo IDEAS and Corporation Colombia university in 2011 and part of 2012.

Keywords: computer crime, interception, computer data, computer system, court order.

1. INTRODUCCIÓN

La presentación del tipo penal de interceptación de datos informáticos dispuesto en el artículo 269C de la Ley 1273 de 2009 o de delitos informáticos, es resultado del objetivo específico dirigido a la presentación de aquellos tipos penales a partir de las normas dispuestas con la Ley 1273 en Colombia, así como de legislación complementaria que resulta de estudios de casos de experiencias legislativas en el Derecho comparado.

Dicho objetivo encabeza los propósitos específicos del proyecto de investigación *“Informática forense y su aplicación en la investigación de los delitos informáticos consagrados en la Ley 1273 de 2009”* que propone como pregunta problema: ¿Se hace necesaria en Colombia la evaluación, identificación y determinación de las técnicas forenses en la investigación de delitos informáticos consagrados en la Ley 1273 de 2009?

2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

2.1 Los delitos informáticos

A partir del rastreo bibliográfico y la sistematización de información por medio de fichas, se pudo evidenciar un debate amplio y enriquecedor en torno a los denominados delitos informáticos. Entre las múltiples definiciones ofrecidas por la doctrina especializada se encuentra la del juez colombiano Alexander Díaz García [1], quien manifiesta que son todas aquellas acciones u omisiones típicas, antijurídicas y dolosas, trátense de hechos aislados o una serie de ellos, cometidos contra personas naturales o jurídicas, realizadas en uso de un sistema de tratamiento de la información y destinada a producir un perjuicio a la víctima, atentados a la sana técnica informática, lo que, generalmente, producirá de manera colateral lesiones a distintos valores jurídicos, reportándose, muchas veces, un beneficio ilícito en el agente, sea o no de carácter patrimonial, actué con o sin ánimo de lucro (2011).

Por su parte, Cristian Andrés Meneses [2], citando a Julio Téllez Valdés, argumenta que los delitos informáticos se pueden conceptualizar de forma típica y atípica, entendiendo por la primera “las conductas típicas, antijurídicas y culpables en que se tienen a las computadoras como instrumento o fin” y por las segundas “actitudes ilícitas en que se tienen a las computadoras como instrumento o fin” [2]. Cristian

Andrés Meneses cita también a Marcelo Huerta y Claudio Líbano [3], quienes expresan que estos delitos son:

(...) aquellas acciones u omisiones típicas, antijurídicas y dolosas, trátense de hechos aislados o de una serie de ellos, cometidos contra personas naturales o jurídicas, realizadas en uso de un sistema de tratamiento de la información y destinadas a producir un perjuicio en la víctima a través de atentados a la sana técnica informática, lo cual, generalmente, producirá de manera colateral lesiones a distintos valores jurídicos, reportándose, muchas veces, un beneficio ilícito en el agente, sea o no de carácter patrimonial, actué con o sin ánimo de lucro.

A su vez, el profesor Téllez Valdés acude a la explicación del delito informático según Davara Rodríguez, quien lo define como la “realización de una acción que, reuniendo las características que delimitan el concepto de delito, sea llevada a cabo utilizando un elemento informático y/o telemático, o vulnerando los derechos del titular de un elemento informático, ya sea hardware o software” [4].

El enriquecido debate da cuenta de una elaboración conceptual tan nutrida y variable como la tecnología misma y sirve de sustento a la figura de los delitos informáticos. En palabras de Carlos María Romeo Casabona citado por (PINO S. A.) se definía la realidad de los delitos informáticos desde la experiencia española en la década de los años ochenta de la siguiente manera:

En la literatura en lengua española se ha ido imponiendo la expresión de delito informático, que tiene la ventaja de su plasticidad, al relacionarlo directamente con la tecnología sobre o a través de la que actúa. Sin embargo en puridad no puede hablarse de un delito informático, sino de una pluralidad de ellos, en los que encontramos como única nota común su vinculación de alguna manera con los computadores, pero ni el bien jurídico protegido agredido es siempre de la misma naturaleza ni la forma de comisión del -hecho delictivo o merecedor de serlo- presenta siempre características semejantes... el computador es en ocasiones el medio o el instrumento de la comisión del hecho, pero en otras es el objeto de la agresión en sus diversos componentes (el aparato, el programa, los datos almacenados). Por eso es preferible hablar de delincuencia informática o delincuencia

vinculada al computador o a las tecnologías de la información.

Vincular esta modalidad delictual exclusivamente a las computadoras está revaluado desde los alcances conceptuales de la informática jurídica, pues la especialización en la materia, como ha sucedido en el caso colombiano, ha identificado una variedad de elementos a partir de los cuales se configura la comisión de una variada gama de conductas tipificadas como delitos informáticos, como es el caso de los datos informáticos, un sistema informático o una red de telecomunicaciones.

Ello conduce a reiterar que la figura del delito informático no se refiere sólo a una modalidad de tipo penal sino a una multiplicidad de comportamientos que pueden y deben ser tipificados de forma independiente, claridad que aunque obvia, ha tenido fuerza en los aportes doctrinarios sobre la materia. En ello coinciden Acurio del Pino [4] y Romeo Casabona, quienes son enfáticos en reiterar que el delito informático alude a una pluralidad de conductas que incurren en la acción ilícita desde diversos elementos informáticos.

En tan amplio y dinámico debate se hace necesario contribuir y fortalecer la orientación conceptual de la figura del delito informático, especialmente para Colombia, por lo que se propone como definición de dicha modalidad delictual la referente a una conducta típica, antijurídica y culpable, de modalidad dolosa y no querellables, donde un sujeto despliega un comportamiento que se vale de un soporte tangible o intangible como datos informáticos, un sistema informático, red de telecomunicaciones o un soporte informático similar y atenta contra derechos de naturaleza fundamental como la intimidad y la información.

Como asegura Heidi Balanta [5] ningún organismo se ha atrevido a dar una definición concreta que integre todos los elementos de un delito informático, pues en ese intento se puede correr el riesgo de no incluir elementos propios de este delito, o confundirlo y caer en otro delito que no es el informático, adicional a los intensos cambios y variaciones de los soportes tecnológicos que sirven de elementos objetivos para que se configuren.

2.2 Interceptación de datos informáticos

Artículo 269C: *Interceptación de datos informáticos*. El que, sin orden judicial previa intercepte datos informáticos en su origen, destino o en el interior de un sistema informático, o las emisiones

electromagnéticas provenientes de un sistema informático que los transporte incurrirá en pena de prisión de treinta y seis (36) a setenta y dos (72) meses.

La interceptación de datos informáticos es un delito penal básico o fundamental de conducta instantánea sin que pueda ser confundida como permanente, en la medida en que la conducta individualizada puede permanecer en el tiempo pero como un acto individualizado que se reitera paulatinamente frente a un sistema informático o las emisiones electromagnéticas, pero basta con una sola interceptación para conducir a su configuración típica.

Es un tipo penal simple por acarrear sólo una conducta como acción tipificada en la norma, y de aparente sujeto activo simple, en la medida en que, si bien la disposición comienza con “*El que*” sin que denote calidad especial alguna del sujeto que incurre en la conducta tipificada, la misma norma se encarga de condicionar la calidad especial del sujeto activo pensado para el tipo penal. Por lo tanto, este artículo conduce a que el sujeto activo de la interceptación debe ser un funcionario de la Policía judicial encargado de labores de investigación judicial en un proceso penal y que, para su legal ejercicio, requiere de orden judicial previa para realizar las interceptaciones a los medios señalados, circunstancia que requiere ahondar en las normas.

Tan delicada actividad tiene ampliamente desarrollada en la legislación nacional, puntualmente en la ya citada ley 906 de 2004, que especifica incluso que es deber de la Fiscalía General de la Nación “*informar a la autoridad competente de cualquier irregularidad que observe en el transcurso de la actuación de los funcionarios que ejercen atribuciones de policía judicial*” (Artículo 142, Ley 906 de 2004) lo que desde ahora implica asegurar que el sujeto activo de la acción citada en la interceptación de datos informáticos no es ni puede ser un sujeto común, debe ser un sujeto altamente cualificado que acredite los conocimientos suficientes para desplegar la acción en comento.

A partir del artículo 200 de la Ley 906 de 2004 se describe cuáles son los órganos de indagación e investigación penal en Colombia, por lo tanto, los facultados para llegar a proceder con una interceptación de datos informáticos. Cita el artículo 200:

En desarrollo de la función prevista en el inciso anterior a la Fiscalía General de la Nación, por

conducto del fiscal director de la investigación, le corresponde la dirección, coordinación, control jurídico y verificación técnico-científica de las actividades que desarrolle la policía judicial, en los términos previstos en este código.

Señala la misma ley en su artículo 201 que ejercen permanentemente las funciones de Policía judicial los servidores investidos de esa función, pertenecientes al Cuerpo Técnico de Investigación de la Fiscalía General de la Nación, a la Policía Nacional y al Departamento Administrativo de Seguridad, por intermedio de sus dependencias especializadas.

También desempeñan funciones permanentes de Policía judicial de manera especial dentro de su ámbito de competencia las autoridades mencionadas en el artículo 202: Procuraduría General de la Nación, la Contraloría General de la República, las autoridades de Tránsito, las entidades públicas que ejerzan funciones de vigilancia y control, los directores nacional y regional del Inpec, los directores de los establecimientos de reclusión y el personal de custodia y vigilancia, conforme con lo señalado en el Código penitenciario y carcelario, los alcaldes y los inspectores de Policía.

Finalmente, el artículo 203 señala que ejercen funciones de Policía judicial, de manera transitoria, los entes públicos que, por resolución del Fiscal General de la Nación, hayan sido autorizados para ello. Estos deberán actuar conforme con las autorizaciones otorgadas y en los asuntos que hayan sido señalados en la respectiva resolución.

El Código de Procedimiento Penal dispuso en sus artículos 213 a 245 las actuaciones que no requieren autorización judicial previa para su realización por parte de las entidades que cumplen las funciones de Policía judicial.

La ley consagra como objetos amparados en la restricción de registro por parte de las autoridades que adelantan la investigación, los siguientes:

No serán susceptibles de registro los siguientes objetos:

1. Las comunicaciones escritas entre el indiciado, imputado o acusado con sus abogados.
2. Las comunicaciones escritas entre el indiciado, imputado o acusado con las personas que por razón legal están excluidas del deber de testificar.

3. Los archivos de las personas indicadas en los numerales precedentes que contengan información confidencial relativa al indiciado, imputado o acusado. **Este apartado cubre también los documentos digitales, videos, grabaciones, ilustraciones y cualquier otra imagen que sea relevante a los fines de la restricción.**

PARÁGRAFO. Estas restricciones no son aplicables cuando el privilegio desaparece, ya sea por su renuncia o por tratarse de personas vinculadas como auxiliares, partícipes o coautoras del delito investigado o de uno conexo o que se encuentre en curso, o se trate de situaciones que constituyan una obstrucción a la justicia. (Negrilla fuera de texto original).

A partir de las disposiciones citadas, la Fiscalía encuentra como limitante en la actividad investigativa la posibilidad de acceder a los datos de información contenidos en sistemas o soportes informáticos, restricción que inicialmente impide que en un registro o allanamiento ordenado o autorizado por Fiscalía, se tenga acceso a los datos informáticos, situación que se rompe en las circunstancias descritas en el párrafo del artículo 223 de la Ley 906 de 2004.

La ley 906 detalla entre las actividades y elementos que pueden ser objeto de investigación sin autorización previa de un juez, comprendido en el artículo 235 modificado por el artículo 52 de la Ley 1453 de 2011 que dispone:

Intercepción de comunicaciones. El fiscal podrá ordenar, con el objeto de buscar elementos materiales probatorios, evidencia física, búsqueda y ubicación de imputados, indiciados o condenados, que se **intercepten mediante grabación magnetofónica o similares las comunicaciones que se cursen por cualquier red de comunicaciones, en donde curse información o haya interés para los fines de la actuación.** En este sentido, las autoridades competentes serán las encargadas de la operación técnica de la respectiva interceptación así como del procesamiento de la misma. **Tienen la obligación de realizarla inmediatamente después de la notificación de la orden y todos los costos serán a cargo de la autoridad que ejecute la interceptación.**

En todo caso, deberá fundamentarse por escrito. Las personas que participen en estas diligencias se obligan a guardar la debida reserva.

Por ningún motivo se podrán interceptar las comunicaciones del defensor.

La orden tendrá una vigencia máxima de seis (6) meses, pero podrá prorrogarse, a juicio del fiscal, subsisten los motivos fundados que la originaron.

La orden del fiscal de prorrogar la interceptación de comunicaciones y similares deberá someterse al control previo de legalidad por parte del Juez de Control de Garantías. (Negrilla fuera de texto original).

Es esta disposición la que acarrea el pronunciamiento de la Corte Constitucional y la consiguiente exigencia de orden judicial para adelantar la interceptación de datos informáticos como medio de comunicación. Al respecto, señaló la Corporación en sentencia C – 334 de 2010:

Con la modificación introducida al artículo 250 constitucional por el Acto Legislativo No. 3 de 2002, se contemplan, en términos generales, tres tipos de intervención por parte de la Fiscalía. Una primera, la habilitación legal para “realizar excepcionalmente capturas”, la cual se somete, al tenor del numeral 1º, a un control de legalidad posterior dentro de las 36 horas siguientes a la práctica de la medida; **otra, en la cual se contemplan los “registros, allanamientos, incautaciones e interceptaciones de comunicaciones”, que también, conforme al inciso 2º, son controlados con posterioridad a su práctica y dentro de las 36 horas siguientes;** y finalmente, las demás “medidas adicionales que impliquen afectación de derechos fundamentales”, previstas en el numeral 3º, las que sí requieren “autorización por parte del juez que ejerza las funciones de control de garantías para poder proceder a ello”, con lo que se quiere significar que, salvo la práctica de exámenes sobre la víctima de delitos o agresiones sexuales, las intervenciones de la Fiscalía que requieren autorización judicial, operan sobre la persona contra quien cursa la investigación. (Negrilla fuera de texto original).

En la citada sentencia de la Corte Constitucional, la interceptación de comunicaciones requiere de control judicial “posterior”, diferente a la mencionada orden judicial “previa” dispuesta en la norma del tipo penal de interceptación de datos informáticos.

Queda así por vía de interpretación jurisprudencial despejado el alcance de la acción a la que alude la interceptación tipificada en el artículo 269C, y complementa la interpretación del Tribunal los alcances también dispuestos por la norma en relación con los tipos de violación del bien jurídicamente tutelado, en la medida en que el tipo penal se refiere al origen, destino o interior de un medio informático, lo que se traduce en la movilidad posible de los datos informáticos entre los usuarios de un sistema informático, asunto al que se refirió la Corte en los siguientes términos:

En esa oportunidad también se indicó que ese tipo de violaciones “*pueden suceder bien por examinarla persona que no sea el destinatario o alguien a quien éste la muestre, en cualquiera de los momentos anotados, es decir, su elaboración, **curso del traslado o después de recibida; bien con violencia o habilidad en la extracción y examen de su contenido; bien con destrucción del objeto portador de la información, quitándole alguna parte o tornándolo ininteligible***”. (Negrilla fuera de texto original).

Seguidamente, en la misma sentencia la Corte Constitucional retoma el mandato legal del control judicial posterior que debe cumplir la Fiscalía en los casos de haber ordenado interceptación de comunicaciones en la etapa de investigación de un proceso penal. En ella se reitera:

Sin embargo, el legislador en materia penal al regular el tema ha señalado que el Fiscal puede ordenar, fundadamente y por escrito, la **interceptación “mediante grabación magnetofónica o similares las comunicaciones telefónicas, radiotelefónicas y similares que utilicen el espectro electromagnético”,** para buscar elementos materiales probatorios y evidencia física, para la búsqueda y ubicación de imputados o indiciados, **debiendo comparecer ante el Juez de Garantías dentro de las 24 horas siguientes al diligenciamiento de la orden, para que se realice la revisión de la legalidad de lo actuado, así como dentro de igual término una vez cumplida la misión, para que se adelante el mismo control** (arts. 235 a 237 L. 906 de 2004 conc. L. 1142 de 2007). (Negrilla fuera de texto original).

La Corte Constitucional fortaleció las medidas de protección y garantía de los derechos fundamentales que se relacionan con la actividad de investiga-

ción penal que adelantan las autoridades de la Policía judicial en Colombia. Sin excluir la regla general del control judicial posterior que exige la ley 906 de 2004, estimó la Corte que la interceptación de comunicaciones cuando especifica textualmente la inclusión de los archivos digitales y documentos computarizados que requieren de la previa autorización del juez para adelantar la diligencia, todo en virtud de la protección del derecho fundamental de la intimidad y la hace, para el caso de las interceptaciones, regla general de procedimiento.

La Corte Constitucional en la sentencia C-336 de 2007 puntualizó que **la exigencia de ese control previo, como regla general, deviene del fortalecimiento que se da en el sistema acusatorio de investigación penal al principio de reserva judicial, cuando de la afectación de derechos fundamentales se trate** (reitera lo expuesto en la C-1092 de 2003, ya referida, donde se declaró inexecutable la expresión “*al solo efecto de determinar su validez*”, del numeral 2° del artículo 2° del Acto Legislativo 03 de 2002 que modificó el artículo 250 superior). (Negrilla fuera de texto original).

De esa forma la interceptación de datos informáticos queda amparada por una doble garantía; inicialmente requiere de orden judicial previa en virtud de la naturaleza del derecho fundamental de intimidad que es puesto en observación de las autoridades de Policía judicial; y al control posterior que, por mandato de ley, debe cumplir el funcionario cuando realice la diligencia de interceptación.

A partir de la misma redacción del tipo penal en estudio, y de los amplios pronunciamientos jurisprudenciales generados en torno al tema, se estima necesario hacer una reflexión crítica y constructiva del tipo penal. Bien exige el artículo 269C para la configuración de la conducta punible la ausencia de orden judicial previa, condición necesaria para la interceptación de datos informáticos, contrario a lo perseguido por el ordenamiento jurídico, pero como se vio, la misma actuación también queda sujeta a un control judicial posterior que no figura como elemento del tipo penal.

Desde el campo informático con alcance del ámbito jurídico es necesario establecer alcance terminológico del tipo penal del artículo 269C denominado *De la Interceptación de datos informáticos*.

Se habla de la existencia de orden judicial para interceptar datos informáticos, es decir, la aplicación del término *interceptar* referido a extraer datos que están en un proceso de movimiento cuando se identifica con acciones de envío, recepción, transferencia, y se excluyen los datos estáticos de su consagración.

Igualmente, se describe que los datos objeto de interceptación pueden ser los datos en su origen (es decir, el punto donde se envía), en su destino (es decir, al punto donde llega) o en el interior de un sistema informático (hay que aclarar el concepto sistema informático) pero no especifica en intermedio del receptor y el emisor (si es que es posible).

También alude de las emisiones electromagnéticas provenientes de un sistema informático, puesto que hay muchas formas de comunicación por medio de emisiones electromagnéticas (entre ellas está la radio, el wifi, los celulares, entre otros), comunicaciones que pueden ser interceptadas que se hacen pasar por el receptor. Si se refieren a un sistema informático también se incluye la interceptación de información entre la persona y el dispositivo informático que se incluya en el sistema de información.

4. CONCLUSIONES

- La implementación de la TI dedicada a la transferencia de comunicaciones P2P, siempre tendrá una tendencia de vulneración a la intimidad de comunicaciones, por lo cual los datos informáticos se convierten en el objetivo principal de realización de conductas delictivas de forma involuntaria en la utilización de mecanismos tecnológicos informáticos tipo software. Entre otros, encontramos los Keylogger instalados en los equipos del mismo usuario, debido a la captura de datos informáticos en el momento de su transferencia.
- El tipo penal de interceptación, por requerir aspectos objetivos que validan su ejecución como son la orden judicial y el control ante el juez con función de control y garantías, establece la línea divisoria entre las conductas constitutivas de licitud o ilicitud al desplegarse una actividad de interceptación, por cuanto estos dos requisitos formales y materiales requieren conocimiento y materialización, para que produzca efectos jurídicos vinculantes, es decir, para evidenciar el estado de conciencia en el momento de la realización de la conduc-

ta. Se deja por fuera la judicialización de personas calificadas dentro del grupo de delincuentes o atacantes informáticos como Lamers y Copyhackers, donde se creería la inexistencia de intencionalidad dolosa, desde un punto de vista jurídico, no así desde un ámbito informático, el cual, claramente no se encuentra enmarcado en nuestro ordenamiento jurídico en el momento de incluir las modalidades de participación autoral en la comisión de delitos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen las contribuciones y el apoyo institucional que las IES Fundación Universitaria Luis Amigó, Eafit e Ideas, sede Itagüí, tuvieron al cofinanciar el proyecto ejecutado en el año 2011, que generó un avance académico investigativo no sólo para el conocimiento de la comunidad académica de cada una, sino, también, del contexto social colombiano, que se evidencia con la multiplicidad de participación en eventos de divulgación en cuanto a los resultados obtenidos, tal como se advierte en el presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] Díaz García, A. (2010). *Aniversario en Colombia del nuevo delito de violación de datos personales. Primer año de vigencia de la Ley de Delitos Informáticos*. Recuperado de <http://alejandro-delgadomoreno.com/2010/01/aniversario-de-la-ley-de-delitos.html>
- [2] Meneses, C. A. (2002). *Delitos Informáticos y nuevas formas de resolución del conflicto penal chileno*. Recuperado de <http://www.delitosinformaticos.com/delitos/penalchileno.shtml>
- [3] Huerta, M. & Líbano, C. (S. A.). Los delitos informáticos. En: Acurio del Pino, S. (Ed).

Delitos informáticos: generalidades. Editorial Jurídica Cono Sur. Recuperado de http://www.oas.org/juridico/spanish/cyb_ecu_delitos_inform.pdf

- [4] Acurio del Pino, S. *Delitos informáticos: Generalidades*. Recuperado de http://www.oas.org/juridico/spanish/cyb_ecu_delitos_inform.pdf. Noviembre 2011.
- [5] Balanta, H. (2009). *Aproximación legal a los delitos informáticos: una visión de derecho comparado*. Cali: Ponencia presentada en el II Congreso Internacional de Criminología y Derecho Penal.

Legislation (Legislación) Ley 599 de 2000, por medio de la cual se expide el Código Penal de Colombia. Ley 906 de 2004, por medio de la cual se expide el Código de Procedimiento Penal.

Ley 1273 de 2009, por medio de la cual se modifica el Código Penal, se crea un nuevo bien jurídico tutelado - denominado "de la protección de la información y de los datos"- y se preservan integralmente los sistemas que utilicen las tecnologías de la información y las comunicaciones, entre otras disposiciones.

Ley 1288 de 2009, por medio de la cual se expiden normas para fortalecer el marco legal que permite a los organismos, que llevan a cabo actividades de inteligencia y contrainteligencia, cumplir con su misión constitucional y legal, y se dictan otras disposiciones.

Jurisprudence (Jurisprudencia)

Corte Constitucional de Colombia, 2007. Sentencia C – 336, M.P.: Jaime Córdoba Triviño.

Corte Constitucional de Colombia, 2009. Sentencia C – 025, M.P.: Rodrigo Escobar Gil.

Corte Constitucional de Colombia, 2010. Sentencia C – 334, M.P.: Juan Carlos Henao Pérez.

Corte Constitucional de Colombia, 2009. Sentencia C – 131, M.P.: Nilson Pinilla Pinilla.

GUÍA PARA AUTORES

Lámpsakos

La revista recibirá aportes teóricos en las áreas de Ingeniería. Para ello dispone de las siguientes normas de presentación:

1. Tipos de artículos que se reciben:

- Artículos de investigación: presenta de manera detallada los resultados originales de investigaciones terminadas. La estructura utilizada contiene cuatro apartes: Introducción, metodología, resultados y conclusiones.
- Artículo de reflexión: presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
- Artículo de revisión: sistematiza e integra resultados de una investigación terminada, publicada o no publicada, sobre un campo o ciencia, para dar cuenta de avances y tendencias de desarrollo.

Presenta una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos cincuenta referencias.

- Artículo corto: presenta resultados preliminares o parciales de una investigación.
- Revisión de tema: presenta la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

2. Formato general del texto, disponible en (<http://www.funlam.edu.co/lampsakos/paginas/normas.html>):

- El texto deberá ser presentado en Microsoft Word, en letra Trebuchet MS, tamaño 10. La configuración de página tendrá un tamaño A4 de 21.0 x 29.7cm, con márgenes superior, inferior, izquierdo y derecho de 2cm. Deberá ser a dos columnas con separación central de 0.5cm. El interlineado: sencillo.
- Extensión: el número de páginas que debe contener el artículo es de mínimo 5 y máximo 8, incluyendo cuadros, gráficas, bibliografía y notas.
- El título del texto debe estar en idioma español e inglés.
- Reseña del autor: quien sea el autor del texto deberá redactar, en un párrafo que no supere las 10 líneas, un breve resumen de su hoja de vida, que incluya: su nombre y apellidos como los registra para efectos de autoría; el último grado de esco-

laridad y la Universidad en la que lo obtuvo; filiación institucional y cargo que desempeña; si hace parte de algún grupo de investigación. Deberá también indicar el país donde se asocia su filiación y el correo electrónico (institucional).

- Resumen analítico: Los artículos deberán contener un resumen o abstract en los idiomas español e inglés, con una extensión de máximo 200 palabras, que sintetice la idea central, los objetivos, la metodología y las conclusiones.
- Palabras clave: deberán relacionarse cinco palabras clave en los idiomas español e inglés.
- Secuencia del artículo: la estructura del artículo deberá ser:

- Título.
- Nombre del autor.
- Grado académico: indicar, con abreviatura, el último título académico obtenido (Ph.D., Mg., Esp.)
- Resumen en el idioma original del artículo.
- Palabras en el idioma original del artículo.
- Resumen en otro idioma (inglés o español).
- Palabras clave en otro idioma (inglés o español).
- Introducción: incluirá la importancia y los alcances del tema tratado, así como los objetivos e hipótesis del mismo.
- Desarrollo y resultados: se presenta el desarrollo del tema. Los resultados obtenidos deberán exponerse en forma clara y concisa (conclusiones).
- Referencias: todas las obras citadas en el texto deberán estar en las referencias y viceversa, siguiendo las normas APA. No se recibirán las obras que no estén en este tipo de citación.

3. Criterios de citación.

- La citación deberá hacerse conforme a lo indicado por el sistema el formato habitual para las referencias empleado en las revistas del IEEE en inglés con objeto de facilitar las referencias cruzadas con el Xplore.

EJEMPLOS:

- [1] J. F. Fuller, E. F. Fuchs, & K. J. Roesler. "Influence of harmonics on power distribution system protection". IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 3, No. 2, pp. 549-557, Apr. 1988.
- [2] E. Clarke. "Circuit Analysis of AC Power Systems" Vol. I. New York: Wiley, 81 p. 1950.
- [3] IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings, IEEE Standard C57.19.100-1995, Aug. 1995.
- Las citas deben transcribirse en el idioma original en el que fueron escritas.
 - Las notas de pie de página se emplearán sólo para hacer aclaraciones o aportar datos adicionales. No deben emplearse para referencias bibliográficas.
- ### 4. Lista de referencias
- Se ubican en un título sin numeración y en continuidad con el texto.
 - Las referencias deben estar numeradas en el orden en que aparecen en el documento.
 - Cada número de referencia debe estar entre corchetes [] en la línea de texto.
 - Las obras de un mismo autor se ordenan cronológicamente comenzando por la más antigua.
- ### 5. Proceso de evaluación de las publicaciones
- El autor(es) del texto deberá enviar, vía correo electrónico y junto al artículo que desea someter a la revista, dos cartas dirigidas al Director de la revista (formatos disponibles (<http://www.funlam.edu.co/lampsakos/paginas/normas.html>)):
 - Una carta de sesión de derechos, en la que garantice la originalidad de su artículo e indique que éste no ha sido publicado en ningún otro medio de difusión y que no se encuentra postulado simultáneamente para otra u otras revistas.
 - Una carta de presentación. En esta carta se presenta el artículo al Comité Editorial para comenzar el proceso de evaluación.
 - El Director de la revista dará respuesta de confirmación de la recepción del texto en un máximo de tres días y remitirá los documentos al Consejo Editorial. Este ente colegiado realizará una evaluación preliminar del texto recibido, y determinará la pertinencia de la publicación. Una vez verificada, se someterá a evaluación por parte de dos árbitros anónimos, quienes establecerán si el material enviado es publicable.
 - En el evento en que un árbitro apruebe y el otro rechace el artículo, se decidirá enviar el artículo al autor con los resultados de ambos evalua-

dores, a fin de que el propio autor atienda todas las observaciones citadas en el documento de evaluación. Una vez hecho esto, el autor puede remitir nuevamente a la revista su artículo para presentarlo en la siguiente convocatoria (si mantiene su interés en la revista).

- El autor o autores a los cuales les hayan sido aceptados sus artículos, se obligarán a transferir de manera exclusiva todos los derechos sobre la reproducción digital del material (incluidas las fotografías y otros soportes) en favor de la revista Lámpsakos. Así mismo, se comprometerán a que una vez enviada la carta de aprobación del artículo, no lo retirarán.
- Una vez aprobado el artículo, este deberá pasar por un proceso de revisión gramatical a cargo de un experto en el oficio. El objetivo de esta etapa, es mejorar la calidad de la publicación; razón por la cual se remitirá nuevamente el artículo al autor, con las observaciones y sugerencias, formuladas por el corrector; el autor contará con un plazo de tres días para emitir un pronunciamiento relacionado con las sugerencias emitidas por el corrector. En caso de no recibir una respuesta en el plazo convenido, se atenderán las sugerencias como aceptadas por el autor.

- La revista Lámpsakos notificará a los autores sobre el estado de los artículos. Advierte además que en ningún caso estará obligada a devolver los documentos que haya recibido impresos o en medios digitales.

6. Información para el envío

Los artículos y demás documentos se recibirán por correo electrónico en:

Correo electrónico: lampsakos@funlam.edu.co

7. Datos de contacto:

Fundación Universitaria Luis Amigó
 Director Revista Ingrid-Durley Torres
 Transversal 51A #67 B 90. Bloque 1, oficina 310
 Medellín - Colombia

Teléfonos: (57) (4) + 448 76 66 – ext. 9602

Fax (57) (4) + 384 97 97

Nombre del Director de la revista: Ingrid-Durley Torres.

GUIDE FOR AUTHORS

Lámpsakos

The journal will admit theoretical work from all engineering areas. All submitted material must follow these guidelines:

1. Types of articles:

- a. Research articles that include information regarding original results of research projects that have concluded. The article must be developed in terms of: introduction, methodology, results and conclusions.
- b. Reflexive articles that present research results of projects that have already concluded from an analytic, interpretative or critical perspective on a specific topic based on original sources.
- c. Literature review article that systematizes and includes results from a concluded, published or unpublished, research project on a specific field or science in order to show advances and development tendencies.
- d. Short articles that present preliminary or partial results of a research project.
- e. Topic review articles that present a critical revision of the literature for a specific topic.

2. General text format (available at: <http://www.funlam.edu.co/lampsakos/paginas/normas.html>):

- The text should be presented in Microsoft Word, A4 size 21.0x29.7, using proportional margins of 2cm. Spacing must be single and presented in Trebuchet MS 10. It must be presented in two columns with a central separation of 0.5cm.
- The minimum length is 5 pages and the maximum 8 pages per article, including tables, bibliography and notes.
- The title must be presented in both English and Spanish
- Author information: the author must write a 10-line paragraph about his/her CV including name, last name for authorship, highest degree and institution, institutional affiliation and position; research group. Also include country where the institutional affiliation is and (institutional) e-mail.
- Analytical summary: articles must include a summary or abstract with a maximum of 200 words in English and in Spanish pointing out the main idea, objectives, methodology and conclusions.
- Key words: five key words must be established in English and in Spanish.
- Order of the article: the structure of the article must be:
 - Title
 - Author
 - Degree: use the appropriate abbreviation of the highest academic degree (Ph.D., Mg., Esp.)
 - Summary in the article's original language.

- Summary in other languages (English or Spanish).
- okey words in other languages (English or Spanish)
- Introduction: includes the importance and impact of the topic, as well as the objectives and hypotheses.
- Development and results: it deals with the development of the topic. Results should be presented clearly and precisely (conclusions).
- References: all work cited must be in the references and vice versa, using the APA system. Work that does not use this reference system will not be accepted.

3. Citation criteria.

- Citation must be done following the reference format of the IEEE journals in English in order to facilitate the cross reference with Xplore.

EXAMPLES:

- [1] J. F. Fuller, E. F. Fuchs, & K. J. Roesler. "Influence of harmonics on power distribution system protection". IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 3, No. 2, pp. 549-557, Apr. 1988.
- [2] E. Clarke. "Circuit Analysis of AC Power Systems" Vol. I. New York: Wiley, 81 p. 1950.
- [3] IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings, IEEE Standard C57.19.100-1995, Aug. 1995.

- Citation must be transcribed in the original language.
- Footnotes should only be used for further explanations or additional data; must not be used for bibliographic references.

4. Reference list

- The reference list must be located under a title without numeration and continuously in the text.
- References must be numbered in the order that they appear in the text.
- Each reference number must use brackets [] in the text.
- Work by the same author should follow a chronological order.

5. Review process

- The author must submit via e-mail two letters directed to the Editor (formats available at: <http://www.funlam.edu.co/lampsakos/paginas/normas.html>)

www.funlam.edu.co/lampsakos/paginas/normas.html)

- A letter regarding authorship rights and confirming the originality of the material and that it is not currently under review by another Journal.
 - A letter of presentation. This letter presents the article to the Editorial committee to start the process of evaluation.
- The Editor will acknowledge receipt of three days and send it to editorial board members for blind review. This board will make an initial assessment in order to determine the relevance of the article. Once it has been selected it will be submitted to two experts for a blind review. They will decide if the material should be published.
 - In case the two experts have different stands regarding the material, the material will be returned to the author(s) with the observation for the analysis of the assessment. The author can once again present the article for the next issue.
 - The articles that are accepted will undergo a grammatical review process by an expert. The purpose of this process is to improve the quality of the publication; the corrections and suggestion will then be sent to the author; the author will have three days to make a statement about it. In case the editor does not receive such statement, it will be taken as an acceptance on behalf of the author.
 - The Journal will be in constant communication with the authors regarding the process of the article. The original material will not be returned under any circumstances.

6. Submitting information

Material can be submitted electronically to Email: lampsakos@funlam.edu.co

7. Contact information

Fundación Universitaria Luis Amigó
Ingrid-Durley Torres, Editor
Transversal 51A #67 B 90. Bloque 1, oficina 310
Medellín - Colombia
Phone number: (57) (4)+ 4487666 ext. 9602
Fax (57) (4) + 3849797

Editor: Ingrid-Durley Torres

ÉTICA DE LA PUBLICACIÓN

- El Comité Editorial en virtud de la transparencia en los procesos, velará por la confidencialidad de la información que se recibe y la calidad académica de la revista.
- Se consideran causales de rechazo: el plagio, adulteración, invento o falsificación de datos del contenido y del autor, que no sean inéditos y originales.
- En ningún caso, la dirección de la revista exigirá al autor la citación de la misma ni publicará artículos con conflicto de intereses.
- Si una vez publicado el artículo: 1) el autor descubre errores de fondo que atenten contra la calidad o científicidad, podrá solicitar su retiro o corrección. 2) Si un tercero detecta el error, es obligación del autor retractarse de inmediato y se procederá al retiro o corrección pública.