



## UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

### DIRECTIVAS

**Carlos Javier Mosquera S. (E)**  
*Rector*

**Roberto Ferro Escobar**  
*Decano Facultad de Ingeniería*

### REVISTA REDES DE INGENIERÍA

**PhD. Carlos Enrique Montenegro Marín**  
*Director de la revista, Universidad Distrital  
Francisco José de Caldas, Colombia*

### COMITÉ EDITORIAL

**Dr. Ruben Aristides Gonzalez Crespo**  
*Universidad Internacional de la Rioja - UNIR,  
España*

**Dr. Oscar Sanjuán**  
*ElasticBox, Estados Unidos*

**Dr. Giovanni Mauricio Tarazona Bermude**  
*Universidad Distrital F.J.C., Colombia*

**Dr. Sandra Yanet Velasco**  
*Universidad Pontificia de Salamanca*

**Dr. Nagib Callaos, Universidad Simón Bolívar**  
*Venezuela, República Bolivariana*

**Dr. Juan Manuel Cueva Lovelle**  
*Universidad de Oviedo, España*

### COMITÉ CIENTÍFICO

**PhD. Vicente García Díaz**  
*Universidad de Oviedo, España*

**Dr. Raul Ramos**

*Universidad Industrial de Santander, Colombia*

**Dr. Wilfrido Moreno**

*University of South Florida, Estados Unidos*

**Dr. María Mercedes Larrondo**

*Florida Atlantic University, Estados Unidos*

**Dr. I-Hsien Ting**

*National University of Kaohsiung, China*

**Dr. Paulo Gaona**

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia*

**Dr. Rafael Bello**

*Universidad Central de las Villas, Cuba*

**Dr. Daniel Burgos**

*Universidad Internacional de la Rioja- Unir, España*

**Dr. Jordán Pascual**

*Universidad de Oviedo, España*

**Dr. Cristina Pelayo**

*Universidad de Oviedo, España*

**Dr. Manuel Pérez**

*Universidad de Vigo, España*

**Dr. Luis Joyanes**

*Universidad Pontificia de Salamanca, España*

**Dr. Luz Andrea Rodríguez**

*Universidad de los Libertadores, Colombia*

**Dr. Eduardw Rolando Nuñez**

*Universidad Carlos III de Madrid*

**Dr. Roberto Ferro Escobar**

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas,  
Colombia*

**Dr. Pablo Jojoa**

*Universidad del Cauca, Colombia*

### COMITÉ EVALUADOR

**Adriana Maritza Montejo. Msc.**

*Universidad Distrital FJDC. Colombia*

**Nelson Enrique Vera. PhD(c).**

*Universidad Distrital FJDC. Colombia*

**Sandro Javier Bolaños Castro. Dr.**

*Universidad Distrital FJDC. Colombia*

**Alberto Boada Rodríguez. Msc.**

*Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Colombia*

**Servando López Aguayo. PhD.**

*Instituto Tecnológico de Monterrey. México*

**Edward Rolando Nuñez. Dr.**

*Universidad Carlos III de Madrid. España*

**Cristian González García. Msc.**

*Universidad de Oviedo. España*

**Luis Enrique Mendoza. Msc.**

*Universidad de Pamplona. Colombia*

**Lissethe Guadalupe Lamadrid. Msc.**

*Universidad Autónoma de Baja California. México*

### PREPARACIÓN EDITORIAL

**Jenny Alexandra Jiménez, Msc.**

*Corrección de Estilo*

**David Mauricio Valero Gonzalez, Ing.**

*Diagramación*

### REVISTA REDES DE INGENIERÍA

Redes de Ingeniería es una revista electrónica Institucional adscrita a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Es una revista de carácter semestral que publica los resultados de Investigación, revisión, reflexión de la comunidad académico-científica los meses Junio y Diciembre de cada año. Posee un sistema de divulgación netamente electrónico y su primer número fue publicado en Junio del 2010.

Redes de Ingeniería es una revista arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. Las opiniones expresadas de esta publicación pueden ser reproducidas citando la fuente.

### COBERTURA TEMÁTICA

Las líneas de publicación de la revista están enmarcadas en las áreas de las Telecomunicaciones, Electrónica, Sistemas, Bioingeniería, Eléctrica, Medio Ambiente, Educación, Industrial, Geomática; además de todos aquellos temas que converjan hacia la Ingeniería.

### MISIÓN

La revista Redes de Ingeniería tiene el objetivo de servir como medio de divulgación de los resultados obtenidos a través procesos de investigación, reflexión, indagación en entornos Educativos y Em-

presariales en temas de actualidad en “pro” del mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad en general.

### REPRODUCCIÓN

Los textos de los artículos son publicados bajo la responsabilidad de los Autores y no reflejan el pensamiento de la revista, ni comprometen de ninguna manera a la Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”.

### INDEXACIÓN

La revista Redes de Ingeniería es una publicación electrónica académica indexada en el Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) de Colciencias (Colombia) en categoría C desde el 1 de Enero de 2012 y registra en EBSCO HOST, en el índice bibliográfico e-revistas, Actualidad Iberoamericana, Índice de Revistas Latinoamericanas en ciencias PERIÓDICA y Latindex



### DIRECCIÓN

Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”  
Facultad de Ingeniería (Carrera 7 # 40 -53, Piso cuarto)  
Especialización en Teleinformática  
Bogotá, Colombia (Sur América)  
redesdeingenieria@udistrital.edu.co



**Redes de Ingeniería**  
**E-ISSN: 2248-762X**  
 Vol. 6 No. 2  
 Julio-Diciembre 2015

# T abla de Contenido

## EDITORIAL 4-5

El futuro de Apple: Swift versus Objective-C  
*Cristian González García, Jordán Pascual Espada,  
 B. Cristina Pelayo G-Bustelo, Juan Manuel Cueva  
 Lovelle*

6-16

Modelo de investigación en ingeniería apoyado  
 por la gestión del conocimiento  
*Luis Leonardo Rodríguez Bernal, Víctor Hugo  
 Medina García, Lillyana María Giraldo Marín, Jose  
 Fernando Lopez Quitero*

17-25

Solución de la ecuación no lineal de Schrodinger  
 (1+1) en un medio Kerr  
*Francis Segovia Chaves, Emilse Cabrera*

26-32

Diseño e implementación de un prototipo de  
 sistema de identificación por radiofrecuencia para  
 la verificación de información de vehículos  
*Alberto Acosta López, Héctor David Lozano, B.  
 Cristian Camilo Rico*

33-43

Acercamiento al perfil de uso de TIC por docentes  
 en el sector rural colombiano

*Dolly Vargas García, Omar Antonio Vega*

44-53

Revisión sobre algoritmos de optimización multi-  
 objetivo genéticos y basados en enjambres de  
 partículas

*Joaquín Javier Meza Álvarez, Juan Manuel Cueva  
 Lovelle, Helbert Eduardo Espitia Cuchango*

54-76

Diagnóstico y propuesta de gestión de las  
 actividades de mantenimiento del sistema  
 semafórico de Bogotá, D.C.

*Jose Ignacio Rodríguez Molano, Miguel Ángel  
 Martínez Cárdenas*

77-91



En este número la *Revista Redes de ingeniería* entrega al lector cinco artículos que han superado todos los procesos de revisión entre pares de doble ciego, garantizado, como ha sido siempre característico, una alta calidad en sus publicaciones; así, los títulos publicados son:

- El futuro de apple: swift *versus* objective-C.: Artículo de investigación que muestra un contraste Swift, el nuevo lenguaje de programación lanzado por Apple para sus iPhone y Objective-C, que era el lenguaje comúnmente usado para la programación de estos dispositivos.
- Modelo de investigación en ingeniería apoyado por la gestión del conocimiento: En este artículo se presenta un modelo de investigación en ingeniería basado en estrategias de gestión del conocimiento, el cual pretende mejorar las relaciones entre la academia, la investigación y la empresa, con el propósito de reducir la brecha existente entre el factor de información y de conocimiento, a fin de fortalecer la investigación en ingeniería.
- Solución de la ecuación no lineal de Schrodinger (1+1) en un medio Kerr: Aquí se muestra una simulación numérica de la propagación de solitones. Con especial atención a los solitones ópticos espaciales, se calcula analíticamente el perfil de solitón correspondiente a la ecuación Schrodinger no-lineal para un medio Kerr.
- Diagnóstico y propuesta de gestión de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá D.C.: En este reporte de caso se caracterizó, identificó y evaluó el despliegue de los contratos interadministrativos que se están actualmente ejecutando en la secretaria de Movilidad del Distrito Capital en Bogotá-Colombia, mediante visitas de campo que permitieron valorar el estado actual del sistema semafórico, además de que proporcionó una visión holística de su funcionamiento. Lo anterior permitió el planteamiento de alternativas de mejora desde la parte eléctrica, equipos de control, interconexión, postes y obras civiles.
- Diseño e implementación de un prototipo de sistema de identificación por radiofrecuencia para la verificación de información de vehículos: En este artículo se muestra el diseño e implementación de un prototipo de aplicación, construido sobre el sistema operativo Android utilizando tecnología NFC, para la identificación y verificación de vehículos.

Como siempre, la revista agradece a todos los autores por sus aportaciones, al comité editorial, al comité científico, a los evaluadores y a la comunidad académico-administrativa de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por todo su trabajo y empeño en pro del conocimiento; y en especial a nuestros lectores, ya que esta revista ha sido creada para ustedes, por lo cual esperamos que contribuya positivamente en su conocimiento.

Carlos Enrique Montenegro  
Editor de la *Revista Redes de Ingeniería*  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Distrital "Francisco José de Caldas"  
Bogotá, D.C. Colombia.

## El futuro de Apple: Swift *versus* Objective-C

### The Future of Apple: Swift *Versus* Objective-C

Cristian González García<sup>1</sup> Jordán Pascual Espada<sup>2</sup> B. Cristina Pelayo G-Bustelo<sup>3</sup>  
Juan Manuel Cueva Lovelle<sup>4</sup>

**Para citar este artículo:** González, C., Pascual, J., Pelayo, B. y Cueva, J. (2015). El futuro de Apple: Swift *versus* Objective-C. *Revista Redes de Ingeniería*. 6(2), 6-16.

**Recibido: 20-mayo-2015 / Aprobado: 09-noviembre-2015**

#### Resumen

Hace unos meses Apple presentó un nuevo lenguaje de programación para sus plataformas: Swift. Con Swift, Apple pretende atraer a los programadores de los lenguajes de programación basados en la sintaxis de C++ y darles una mayor abstracción, que con Objective-C, para que sea más fácil programar para las plataformas de Apple. Por estas razones, se hace necesario contrastar lo pretendido por Apple y realizar un estudio del lenguaje de programación a fin de contrastar su objetivo. Para ello, se hicieron dos evaluaciones, una cualitativa y otra cuantitativa, con el propósito de verificar en qué medida Swift es un avance respecto a Objective-C.

**Palabras clave:** lenguaje de programación, programación funcional, programación informática, programación orientada a objetos, software.

#### Abstract

Few months ago, Apple presented a new programming language: Swift. With Swift, Apple pretends to attract the programmers of the programming languages based on C++ syntax and gives them a higher abstraction than with Objective-C for being easier to programme to Apple's platforms. For these reasons, it is necessary to contrast what is intended by Apple and do a study of the programming language to ascertain their goal. For this purpose, we did two evaluations, firstly a qualitative evaluation and after, a quantitative evaluation to verify in how much Swift is an advance with respect to Objective-C.

**Keywords:** computer languages, computer programming, functional programming, object oriented programming, programming, software.

1. Ingeniero técnico en Informática de Sistemas; máster en Ingeniería Web, Escuela de Ingeniería Informática, (Universidad de Oviedo, España); doctorando en Ingeniería Web, Redes Sociales y Dispositivos Móviles. Trabaja en el grupo de investigación "Ingeniería Dirigida por Modelos MDE-RG", de la Universidad de Oviedo desde 2012. Contacto:gonzalezgarciacristian@hotmail.com
2. Doctor en ingeniería Informática, Universidad de Oviedo; máster en ingeniería Web; profesor en la Universidad de Oviedo, ha impartido clases y seminarios en diversas empresas y universidades (Universidad Internacional de la Rioja y Universidad Pontificia de Salamanca); ha participado en diversos proyectos de investigación de ámbito nacional y publicado varios libros y más de veinte artículos científicos en revistas internacionales. Contacto: jordansoy@gmail.com
3. Profesora e investigadora del Departamento de Informática de la Universidad de Oviedo; Doctora en Ingeniería Informática, Universidad de Oviedo. Contacto: crispelayo@uniovi.com
4. Ingeniero de Minas, Escuela Técnica de Ingenieros de Minas (Universidad de Oviedo, España); doctor, Universidad Politécnica de Madrid (1990); desde 1985 es profesor del área de Lenguajes y Sistemas del Departamento de Informática en la Universidad de Oviedo (España); miembro con derecho a voto de ACM e IEEE. Contacto: cueva@uniovi.com

## INTRODUCCIÓN

Swift es el nuevo lenguaje de programación creado por Apple para las nuevas versiones de los sistemas operativos de sus plataformas: iOS y OS X [1]. Fue lanzado al público el 6 de Junio de 2014, siendo esta primera versión Swift 1.0 GM la analizada en este artículo. La intención de Apple es ofrecer a los programadores un lenguaje mucho más sencillo, fácil, rápido de programar y amigable que Objective-C [2] para facilitar el desarrollo de aplicaciones para las plataformas de Apple [1], a pesar de su estado beta.

Swift es mucho más sencillo de aprender que Objective-C, pues se inspira en los lenguajes modernos como C++11, JavaScript, C#, Java, F#, Haskell, Go, Scala, etc. Olvidando la sintaxis basada en C, así como la introducida en la creación de Objective-C. Por ejemplo, no hay uso de punteros y tiene un gestor de memoria, lo que simplifica mucho el uso de lenguaje por parte de los desarrolladores. Esto se debe a que la sintaxis de Objective-C apenas evolucionó con el paso de los años y actualmente es muy diferente a la del resto de lenguajes que fueron apareciendo, al contrario de Swift, que se basa en ellos. Esto da como resultado que Swift posea una sintaxis más limpia, fácil de aprender, sencilla y familiar a costa de ser más restrictiva. Además, Swift incorpora nuevas funcionalidades y da soporte a la programación funcional [1].

Una característica del nuevo ecosistema creado por Apple integrándole Swift es la retrocompatibilidad. Permite tanto importar código de Objective-C en Swift como importar código Swift en Objective-C. Para esto, crearon un sistema de ayuda de importación de código en su Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés) Xcode. Esto permite reutilizar el código existente en Frameworks y APIs, así como con los conocimientos para resolver determinados problemas usando algoritmos conocidos. No obstante, ya

tiene varias librerías de su antecesor traducidas a código nativo Swift [3].

Debido a la aparición de este nuevo lenguaje se hace indispensable su estudio para comprobar si las afirmaciones de Apple sobre Swift son ciertas. Además, se estudiará si Swift es un lenguaje de programación adaptado a los nuevos tiempos y si puede facilitar el desarrollo de las aplicaciones para las plataformas de Apple [1].

El artículo está dividido de la siguiente manera: en *Cambios internos* se discuten los diferentes cambios internos introducidos en Swift frente a Objective-C. En la sección *Cambios notables* se explica las nuevas características de las variables y las clases. La sección *Paradigma funcional* hablará de ciertos cambios realizados en el lenguaje para incorporar el paradigma funcional. En *Innovación* se realiza una breve explicación de las novedades notables incorporadas a Swift. Posteriormente, en *Evaluación y discusión* se realiza un breve estudio de la sintaxis entre Objective-C y Swift. Por último, la sección de *Conclusiones*.

## CAMBIOS INTERNOS

Swift y Objective-C utilizan el mismo compilador, el Low Level Virtual Machine (LLVM, por sus siglas en inglés) creado en la Universidad de Illinois en el año 2000 y que está programado en C++ [4], [5]. Dicho compilador transforma el código Swift en código nativo optimizado para el hardware para el que se desarrolla (Mac, iPhone o iPad) [2].

Sin embargo, no todo es igual e introducen nuevos cambios en la sintaxis para hacerla más parecida a los lenguajes más utilizados [6], [7], simplificarla y añadirle azúcar sintáctico. También incorpora cambios internos frente a Objective-C, como la ausencia de pre-procesador, cambios internos en las colecciones, cambios en el "goto" y en las Clases. Estas similitudes y diferencias serán vistas en esta sección.

## Sintaxis

Al igual que en otros lenguajes de programación (JavaScript, Ruby), Swift permite el uso opcional del carácter “punto y coma” (;) al final de una línea. Además, ahora utilizan como operador de acceso el punto (“.”), al igual que hacen otros muchos lenguajes en lugar de “[” y “]” como en Objective-C. No obstante, ahora obliga a acotar con llaves “{” y “}” en las estructuras de control, para así evitar problemas de programación, pues antes, en algunos casos, estas eran opcionales.

Con estos cambios, Apple pretende hacer un lenguaje más legible y fácil para los desarrolladores, además de conseguir reducir el número de errores que puedan cometer cuando programen.

## Colecciones

A diferencia de Objective-C, que posee tres colecciones (Array, Set y Dictionary), Swift solo incorpora dos (Array y Dictionary). Además, en Swift, se encuentran implementadas con estructuras (struct), lo que difiere respecto a NSArray y NSDictionary de Foundation que están implementadas con clases.

Por ello, en Swift, cuando estas se asignan a una constante, una variable o se pasan como argumento en tiempo de ejecución a una función, internamente se hace una copia de las estructuras. Lo anterior contrasta con Objective-C, pues este pasa una referencia a la instancia existente.

## Labeled Statments

Una de las diferencias entre Swift y Objective-C es la instrucción “goto”. En Objective-C se podía usar para ir a cualquier punto de la ejecución del programa siempre que estuviese en el mismo ámbito. En Swift esto cambia, pues deja de existir la palabra reservada “goto” e introducen lo que llaman las Labeled Statements [2]. La idea es parecida al “goto”, pero para ámbitos más pequeños, como ocurre en

C#, Java y PHP: moverse a una etiqueta dentro de los bucles y el switch.

## Clases, Structs y Enums

La creación de una clase o “struct” (figura 1) es muy parecida a la sintaxis de los nuevos lenguajes de programación como C++, Java o C#. Además, cambia la separación a un archivo con extensión “.h”, el cual incluye las cabeceras de los métodos como hacía Objective-C por la definición completa con el cuerpo como hacen los lenguajes antes citados. Así, en Swift, se define todo el código de una clase o estructura en el mismo fichero.

```
struct Resolution {
    var width = 0
    var height = 0
}
```

Figura 1. Creación de una Estructura en Swift.

En el ejemplo de una clase de la figura 2, lo primero que se ve es el constructor. Este utiliza un método por defecto llamado “init”. Mantiene la misma palabra reservada y un estilo parecido Objective-C. No obstante, hay que especificar a qué atributo se le asigna el valor. A continuación se puede observar los “getters” y “setters”. Como se ve, la declaración es muy similar a como se hace en C#. El siguiente paso contiene la función. La cual necesita incluir la palabra reservada “func” al principio y el tipo de retorno al final “-> String”.

Debajo de la declaración de la clase está el ejemplo de cómo se instancia un objeto y cómo se trabaja después con este. Para acceder al mismo objeto, sigue utilizando la palabra self, pero deja de lado el operador “->” y facilita el uso, utilizando siempre el operador “.”, como ocurre, por ejemplo, en Python, C# y Java. En consecuencia, al reducir la complejidad al eliminar los punteros, se simplificó el acceso a variables y el uso de operadores a utilizar. Esto hace que ahora para instanciar un objeto no haya que utilizar “alloc” y baste con llamar



al constructor deseado. A diferencia de muchos de los lenguajes de programación actuales basados en C++, se omitió el uso de la palabra reservada “new” delante, siguiendo así el estilo de otros lenguajes actuales que no lo utilizan como son Boo, Python y Scala, entre otros.

```
// Clase en Swift
class Person {

    init(name:String){
        self.name = name
    }

    var name: String {
        get {
            return "John Doe"
        }
        set {
            self.name = newValue
        }
    }

    func description() -> String {
        return "My name is \(name)."
    }
}

var person = Person(name:"Cris")
person.name = "Cristian González García"
var description = person.description()
```

**Figura 2.** Creación de una clase en Swift con sus componentes más habituales

La herencia en Swift se sigue haciendo igual, pero en esta ahora hay que especificar con la palabra reservada “override” cuando se sobrescribe un método, al igual que ocurre en otros lenguajes. Esto sucede también cuando se invoca un método del padre. Se usa la misma palabra reservada, “super”, pero ahora se hace uso del operador “.”

Swift también permite el evitar que una variable, método o clase sea sobrescrito si a este se le incluye, delante del método padre la palabra reservada “final”. Como se puede observar, sigue un sistema similar al de C++ y C#.

Por otro lado, los “enum” siguen funcionando igual que en Objective-C. La diferencia está en que ahora

tienen una sintaxis más limpia y parecida a una clase. No obstante, Swift incorporó más potencia a los “enum” al permitir definir códigos de barra, códigos QR y valores en bruto, también conocidos como Raw, de una forma más sencilla [2].

Para dotar de más potencia a todo esto, Apple mejoró lo conocido en Objective-C como “categories” y creó las “extensions” [2]. Por medio de la cual se puede añadir una nueva funcionalidad a una clase, “struct” o “enum” existente a las que no se tiene acceso al código. Cabe resaltar que no permiten sobrescribir las funciones ya existentes.

## CAMBIOS NOTABLES

Swift introdujo diversos cambios de cómo se ha de programar, además de nuevas características. Introdujo cambios en las variables, así como nuevos tipos y cambiaron cierto funcionamiento de las clases. Todo esto se explicará más en detalle en esta sección.

### Variables

Swift es mucho más restrictivo con el tipado de las variables para así evitar código inseguro [2]. Obliga a que las variables estén inicializadas antes de ser usadas y a que se especifique explícitamente si es una variable (var) o una constante (let), utilizando estas palabras reservadas. También chequea posibles desbordamientos en arrays y enteros y maneja la memoria de forma automática, usando Automatic Reference Counting (ARC) [2].

Otro de los cambios es que Swift permite al desarrollador especificar explícitamente el tipo o dejar que el compilador lo infiera. No obstante, es fuertemente tipado, es decir, una variable no puede cambiar su tipo, así, si esta fue creada de un tipo específico, no permitirá al desarrollador cambiarle el tipo. Lo que sí permite es realizar una conversión explícitamente al resultado de una operación a otro tipo antes de que el valor sea asignado. Es

decir, si se hace una operación entre dos números reales, se puede convertir su resultado a un número entero para así poder almacenarlo en una variable de tipo entero.

## Nuevos tipos de variable

Swift incorpora tres nuevos tipos de variable: tuplas, “Optionals” y “Lazy properties”. Con la incorporación de estas, consigue otorgar de una mayor flexibilidad y facilidad al desarrollador.

Mediante el uso de tuplas se consigue agrupar múltiples valores en un único componente. Por esto, uno de sus usos es en el retorno de una función para permitir la devolución de múltiples parámetros. La figura 3 contiene un ejemplo de tuplas.

```
let http404Error = (404, "Not Found")
var num = http404Error.0
var message = http404Error.1
```

Figura 3. Tuplas.

Los “Optional” son una clase de variable nueva en Swift que no poseen ni C ni Objective-C. Se usan para asignar un tipo cuando un valor puede ser de diferente tipo o nulo [2]. De esta manera, si una conversión no puede ser realizada, la variable tomará el valor nulo: “nil”. Para declarar una variable de tipo opcional hay que poner el signo de cierre de interrogación (“?”) detrás del tipo. En la figura 4 se muestra un ejemplo en el que se asigna una cadena de texto que contiene un número a una constante entera. Si la conversión de tipo fallase, la variable tomaría el valor “nil”.

```
let number: String = "0"
//let nilNumber: Int = number.toInt() // Error
let nilNumber: Int? = number.toInt()
```

Figura 4. Optionals.

Swift incorpora lo que se conoce como “Lazy Property” [2]. Esto es una propiedad de una clase o estructura en la que no se calcula su valor inicial en

tanto es usada por primera vez. Hasta entonces, carece de valor. Esta es una novedad en la plataforma de Apple, pues Objective-C carecía de ella. Su uso es similar al existente en otros lenguajes como son C# y Python. Para crear una propiedad “lazy” es necesario poner delante de la declaración: “lazy”. Se muestra un ejemplo en la figura 5.

```
class Figure{
    var height = 240;
    var width = 480;
    lazy var are = String("Hello Cruel World")
}
```

Figura 5. Lazy Property.

## Clases

Swift añadió un tipo de constructor nuevo, el “convenience initializer”. Este constructor de conveniencia es opcional y es llamado siempre antes que el constructor principal. Con esto, pretenden hacer unos constructores de clase más sencillos para el desarrollador, ya que este podrá crear en los “convenience initializers” las variables que tengan una inicialización fija y, en los constructores normales, las variables que tengan una inicialización dependiente de los parámetros.

Para crear un “convenience initializers” hay que crear un constructor como el ya existe, pero con la palabra reservada “convenience” delante (figura 6). De esta manera, se consigue tener un código más limpio y legible al tener un solo constructor común y diferentes constructores de conveniencia según determinadas situaciones.

El otro cambio viene por parte de los destructores. Debido a que Swift incorpora el gestor de memoria de Objective-C, ARC, no hace falta crear destructores para liberar memoria como ocurría en Objective-C y ocurre en C y C++. No obstante, Swift incorpora los “Deinitialization” [2].

Un “Deinitialization” es un método que se llama inmediatamente cuando la instancia es liberada.

Nunca puede ser llamado explícitamente por el desarrollador. Con esta opción se provee al desarrollador de un mecanismo extra para realizar una limpieza adicional de los recursos o realizar acciones bajo ciertos casos. Un ejemplo es cuando la clase trabaja con ficheros. Cuando esta se libera, el fichero ha de ser cerrado, cosa que ARC no puede inferir [2]. Una solución es que el desarrollador cree un “Deinitialization” que cierre el fichero. Para crear un “Deinitialization” solo hace falta crear un método con la palabra reservada “deinit” (figura 7).

```
class Food {
    var name: String
    var weight: Int

    init(name: String, weight: Int) {
        self.name = name
        self.weight = weight
    }

    convenience init() {
        self.init(name: "[Unnamed]", weight: 500)
    }

    convenience init(name:String) {
        self.init(name: "[Unnamed2]", weight: 5)
    }

    convenience init(weight:Int) {
        self.init(name: "[Unnamed3]", weight: weight)
    }
}

var food = Food()
var food2 = Food(name: "Chips")
var food3 = Food(weight: 50)
var food4 = Food(name: "Meat", weight: 5)
```

Figura 6. Ejemplo de diversos Convenience Initializers.

```
deinit {
    println("\(name) has disappeared")
}
```

Figura 7. Ejemplo de un destructor.

## PARADIGMA FUNCIONAL

Una de las grandes novedades en Swift fue la incorporación de un tercer paradigma de programación, el paradigma funcional. Para ello, Apple modificó el funcionamiento de las funciones y métodos a fin

de incorporarles retorno múltiple y soporten otras características de la programación funcional, como las “Closure”. Acerca de esto se hablará en esta sección.

## Funciones

Swift permite el paso de funciones, lo que se conoce como funciones lambda o funciones anónimas en el paradigma de programación funcional. Por ello, es posible declarar funciones que aceptan funciones (figura 8), funciones que devuelven funciones (figura 8), retorno de múltiples parámetros utilizando una tupla (figura 8) y el anidamiento de funciones, pretendiendo evitar la creación de funciones largas y complejas.

```
func addWithFunction(array:[Int], f:([Int]) -> Int)
-> (a:Int, b:Int){
    return (f(array), array.count)
}
```

Figura 8. Ejemplo de una función que recibe una función y tiene retorno de múltiples parámetros, en el que uno de ellos es una función.

## Closures

Swift incorpora las “closures” como parte del paradigma funcional. Las “closures” permiten evaluar una función en un entorno conteniendo una o más variable dependiendo de otro. Un ejemplo sería pasar una función a la función “map”, que se puede ejecutar sobre un array, para que así la función que se pasa sea ejecutada en cada elemento del “array” por la función “map”.

Swift permite crear las “Closures” de otras formas más simplificadas: retorno implícito, que implica no especificar el retorno y que automáticamente devuelva el resultado de la operación; la posibilidad de utilizar los “Shorthand Argument Names”, argumentos por defecto que crea Swift automáticamente para trabajar con los parámetros que recibía la clausura sin necesidad de declararlos; incluir solo el operador deseado (<, >, +, -, ...), en el caso

de que la función reciba solo dos parámetros y devuelva el resultado.

## INNOVACIÓN

En esta sección se explicarán las novedades que trae Swift respecto a lo que proporcionaba Objective-C. La más notable es el Playground, un sandbox para programar. Se comentarán también los nuevos operadores. Por último, se explicará la genericidad introducida en el nuevo lenguaje de Apple y los cambios en el Switch.

## Playground

Swift incorpora una nueva tecnología en el IDE Xcode 6, el Playground [1], [2]. El Playground es un compilador en tiempo real que ejecuta el código escrito en él como si de un lenguaje de script se tratase. Ofrece el valor de la ejecución en diferentes partes del programa (asignaciones, operaciones, retornos), pues se autoejecuta cuando se realizan cambios sin necesidad de tener que lanzar la aplicación. En resumen, el Playground es una consola de ejecución del lenguaje, como las existentes en Bash, PHP, Python y Ruby, entre otros, pero integrada en un IDE con editor de texto y utilidades incorporadas. En la siguiente figura 9 se puede observar esto.

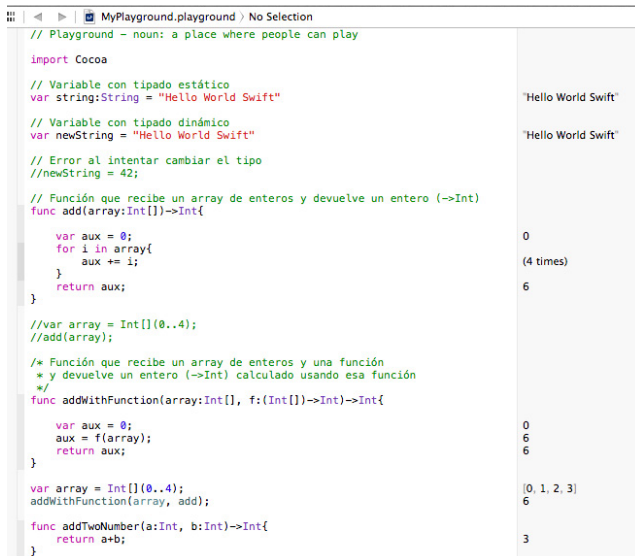


Figura 9. Ejemplo del Playground.

Lo anterior permite que se puedan probar algoritmos de una manera rápida, fácil, eficaz y aislada, pues otorga la posibilidad de encapsular el algoritmo en un sandbox limpio y sin relación con la aplicación a desarrollar. Lo cual implica que se puedan evitar errores colaterales [2]. Además, cuenta con otras utilidades gráficas para la visualización de los diferentes resultados durante la ejecución de un bucle (figura 10).

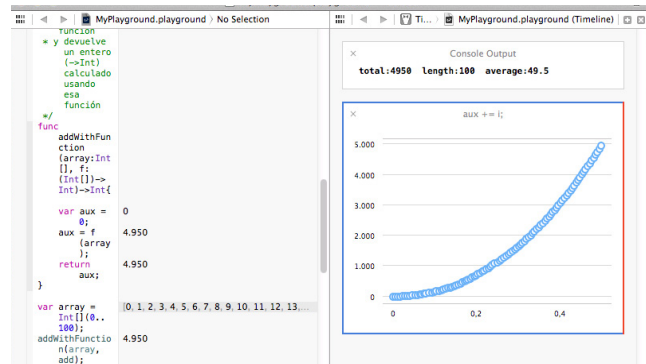


Figura 10. Ejemplo de las utilidades del Playground.

## Nuevas funcionalidades de los operadores

Swift incorpora todos los operadores unarios (++ , -- , !), binarios (+ , - , \* , /) , ternarios (a:b:c), lógicos (! , && , || , true , false) y de asignación que posee C. No obstante, añadió tres nuevas funcionalidades a los operadores. Estas son los "Range Operators", "Overflow Operators" y los "Custom Operators". Hay dos tipos de "Range Operator": el "Closed Range Operator" y el "Half-Open Range Operator". No obstante, su funcionamiento es muy similar y difieren mínimamente, pero nos permiten definir rápidamente la creación de una lista o "array" o crear iteración sobre ellos.

El Closed Range Operator se define con tres puntos (a...b). Esto define un rango que va desde "a" hasta "b" y que incluye ambos. Se usa para iterar sobre un rango de valores en el que ambos han de ser incluidos. Un ejemplo de definición de un "array" que vaya de 0 a 13 es: [0...13].

Por el otro lado, el Half-Open Range Operator ( $a..<b$ ) define un rango que va desde “a” hasta “b” y que no incluye b. Un ejemplo de definición de un “array” que vaya de 0 a 12 es:  $[0..<13]$ .

La segunda funcionalidad que añadió Swift es el “overflow” de los operadores aritméticos (+, -, \*, /), pues en Swift, por defecto, estos no tienen “overflow” [2]. Así, si se desea activar, hay que añadir el signo “&” antes del operador deseado.

Por ejemplo, el operador “&+” tendría “overflow” mientras que el operador “+” no. Así, en la primera variable del ejemplo obtendríamos 127, la segunda haría romper el programa y la tercera devolvería -128.

En el caso de que se desee “underflow”, se debe utilizar “&-”. En el ejemplo podemos ver que en la primera variable obtendríamos -128, la segunda haría romper el programa y la tercera devolvería -126.

Swift también permite controlar las divisiones por cero. Para ello, en caso de que se quiera obtener un cero en una división, se debe incluir el signo “&” antes del signo de división: “&/” y “&%”. De esta manera, la primera variable del ejemplo devolvería un error y la segunda devolvería 0.

En la multiplicación es “&\*”, ocurre el mismo caso que en los anteriores.

La tercera funcionalidad incorporada en los operadores de Swift permite definir nuevos operadores usando los signos aritméticos existentes en el lenguaje [2]. En Objective-C no era posible, mientras que en C++ sí. Para crear un operador es necesario declarar su cabecera e implementarlo. Existen tres formas de implementar los operadores: prefijo, infijo o postfijo (figura 11).

```
operator prefix +/+++* {}
@prefix @assignment func +/+++* (inout newValue: Int) -> Int {
    newValue += 4
    return newValue
}
var addFour = 5
var newOperator = +/+++*addFour
```

Figura 11. Custom operator.

## Generics

Swift incorpora los “Generics”, conocidos en otros lenguajes de programación, C++ y Java, como “Templates”. En Objective-C, para poder tener esta funcionalidad, era necesario implementar esa parte del código programándolo en C++. Ello permite hacer, nativamente en Swift, todo lo que conlleva e otros lenguajes el uso de los “Templates” utilizando para ello el tipo genérico “<T>”.

## Switch

El “switch” en Swift tiene mejoras respecto al existente en Objective-C [2]. Omite el uso de la sentencia “break”, siendo ahora opcional usarla. Ahora, automáticamente rompe la secuencia de ejecución cuando se termina el “case” para conseguir que sea más fácil usarlo y poder evitar posibles errores que el desarrollador pueda cometer al olvidarse incorporar dicha palabra reservada, figura 12. No obstante, si se desea crear la programación contraria, que salte de un “case” a otro, hay que utilizar la nueva palabra reservada “fallthrough”. Dicha funcionalidad es idéntica al funcionamiento de los “switch” en C#.

Otra mejora es que permite introducir varias comprobaciones en el mismo case separadas por un coma (“,”), usar “Range Operators” y tuplas.

La combinación del uso de “Range Operators” y tuplas en el Switch permite al desarrollador evaluar funciones matemáticas de una forma sencilla y rápida.

Esta nueva versión del “switch” incorpora la cláusula “where”, que es opcional, y da la opción de añadir un chequeo adicional al caso que especifiquemos.

```
var letter:Character = "a"
switch letter{
  case "a", "A", "b":
    println("Hello")
  case "d":
    println("Bye")
  default:
    println("GoodBye")
}
```

Figura 12. Switch en Swift.

## EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN

Para corroborar lo anteriormente explicado, decidimos realizar una misma implementación en los ambos lenguajes: Swift 1.0 GM y Objective-C. Se implementó un analizador sintáctico de XML utilizando la librería estándar de XMLParser de Foundation.

En esta prueba se creó el método que inicializa el analizador sintáctico y se sobrescribieron los métodos “didStartElement” y “foundCharacters”. El primero es llamado cuando se analiza un nuevo nodo. El segundo, “foundCharacters”, es llamado cuando se encuentra texto dentro de un nodo.

A continuación se muestran las implementaciones en Objective-C y en Swift de los tres métodos, así como el análisis sintáctico y el número de caracteres, incluyendo espacios que necesita cada implementación. En ellas se llamó exactamente igual a las variables y se utilizó la forma nativa de cada lenguaje para acceder a los atributos de los métodos de la librería. El formato del código es el realizado por el Xcode por defecto.

En la figura 13 se puede ver la implementación en Objective-C del método de inicialización y en la figura 14 la implementación en Swift. Como se

observa, el método en Objective-C recibe un puntero. Además, cuando inicializa el analizador sintáctico de XML hace falta reservar memoria (alloc). También se puede ver un cambio de nombre de los métodos de la librería y el cambio de sintaxis en los atributos booleanos.

```
-(void)beginParsing:(NSURL *)xmlURL
{
  parser = [[NSXMLParser alloc] initWithContentsOfURL:xmlURL];
  [parser setDelegate:self];

  [parser setShouldProcessNamespaces:NO];
  [parser setShouldReportNamespacePrefixes:NO];
  [parser setShouldResolveExternalEntities:NO];

  [parser parse]
}
```

Figura 13. beginParsing en Objective-C.

```
func beginParsing(xmlUrl :NSURL)
{
  parser = NSXMLParser(contentsOfURL: xmlUrl)
  parser.delegate = self

  parser.shouldProcessNamespaces = false
  parser.shouldReportNamespacePrefixes = false
  parser.shouldResolveExternalEntities = false

  parser.parse()
}
```

Figura 14. beginParsing en Swift.

A continuación se muestra la implementación del método “didStartElement” en Objective-C (figura 15) y en Swift (figura 16). Como ocurría en el ejemplo anterior, en Objective-C hace falta recibir punteros, lo que implica que sea necesario copiar el objeto utilizando el método “copy” para así no modificar el objeto original. Después, como ocurría antes, hace falta reservar memoria para diferentes objetos de forma explícita, así como, en el comparador, asignar una “@” previamente a la cadena de texto.

```
-(void)parser:(NSXMLParser *)parser didStartElement:(NSString *)elementName namespaceURI:(NSString *)
namespaceURI qualifiedName:(NSString *)qualifiedName attributes:(NSDictionary *)attributeDict
{
  element = [[elementName copy] stringByTrimmingCharactersInSet:[NSCharacterSet
whitespaceAndNewlineCharacterSet]];

  if ([element isEqualToString:@"views"]) {
    elements = [[NSMutableDictionary alloc] init];
    views = [[Views alloc] init];
  }
}
```

Figura 15. Función didStartElement en Objective-C.

```
func parser(parser: NSXMLParser!, didStartElement elementName: String!, namespaceURI: String!,
qualifiedName : String!, attributes attributeDict: NSDictionary!)
{
    element = elementName.stringByTrimmingCharactersInSet(NSCharacterSet.
    whitespaceAndNewLineCharacterSet())

    if (element as NSString).isEqualToString("views") {
        elements = NSMutableDictionary.alloc()
        elements = [:]
        views = Views()
    }
}
```

**Figura 16.** Función didStartElement en Swift.

Por último, se puede ver la implementación del método “foundCharacters”. En la figura 17 se muestra en Objective-C y en la figura 18 en Swift. En esta comparativa vemos cómo se repiten cosas de los dos anteriores ejemplos.

```
- (void)parser:(NSXMLParser *)parser foundCharacters:(NSString *)string
{
    NSString* cad = [string stringByTrimmingCharactersInSet:[NSCharacterSet
    whitespaceAndNewLineCharacterSet]];

    if(![cad isEqual: @""] && [element isEqualToString: @"button"]) {
        [button setText: cad];
    }
}
```

**Figura 17.** Implementación en Objective-C de foundCharacters.

```
func parser(parser: NSXMLParser!, foundCharacters string: String!)
{
    var cad: String = string.stringByTrimmingCharactersInSet(NSCharacterSet.
    whitespaceAndNewLineCharacterSet())

    if cad != "" && element.isEqualToString("button") {
        button!.setText(cad)
    }
}
```

**Figura 18.** Implementación en Swift de foundCharacters.

En la tabla 1 se muestra los caracteres que se necesitó escribir en cada lenguaje para implementar los diferentes métodos, la diferencia entre Objective-C y Swift y el porcentaje de menos código necesaria al programar en Swift.

**Tabla 1.** Tabla comparativa entre Objective-C y Swift.

	Objective-C	Swift	Diferencia	%
beginParsing	256	226	-30	11,27%
didStartElement	401	360	-46	11.38%
foundCharacters	250	232	-18	10.77%

Como se observa en la tabla superior, en todos los casos Objective-C necesita de mucho más código para realizar la misma tarea, exactamente, entre un 10.77% y un 11.27%.

## CONCLUSIONES

Como se observó, Objective-C utiliza los “[” y “]” mientras que Swift el operador “.” para acceder a los métodos. Esto consigue una disminución en el uso de caracteres y, utilizando menos, dar la misma información al usuario, tal vez incluso de manera más visible. Un caso de facilidad para cometer menos errores es el no tener que reservar memoria de forma explícita, como ocurre en Objective-C. Además, renombraron métodos para acortar su nombre, pero sin perder expresividad y eliminaron la “@” que debe ir delante de las cadenas de texto. Todo esto hace que en Objective-C se requiera escribir más de un 10% de código que en Swift, lo que puede conseguir que un desarrollador cometa menos fallos.

Sobre la base de esto, se puede decir que Apple consiguió crear un lenguaje moderno con todo lo que poseen y tienen desde hace varios años otros lenguajes de programación como son C#, Java, JavaScript, Python, Ruby y Scala, entre otros. Además incorporaron la programación funcional, algo que están adoptando los lenguajes de programación para ofrecer más posibilidades a los programadores. También incorporaron nuevas posibilidades de cara a la facilidad y eficacia de programar, como los cambios en la sintaxis, las mejoras en diferentes estructuras de datos, el nuevo “Switch”, las clases, variables, funciones, operadores y la eliminación de los punteros.

En resumen, Swift es un lenguaje de programación con la abstracción y funcionalidades requeridas por la época actual, y, en ciertos casos, mejorando lo existente, como es el caso del “Switch”. Además, crearon un lenguaje nuevo para su ecosistema, pues Swift no es un competidor de Objective-C,

ni su evolución, sino un lenguaje de programación dispuesto a convivir con él y dar a los desarrolladores otra opción.

## FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue realizado por el grupo de investigación "Ingeniería Dirigida por Modelos MDE-RG", de la Universidad de Oviedo, en el contrato No. FOU-EM-086-14 del Proyecto de investigación "Proyecto Visio". El proyecto fue financiado parcialmente por Zed Worldwide S.A.

## REFERENCIAS

- [1] Apple Inc., "Swift", 2015 [en línea] Consultado el 30 de noviembre de 2015, disponible en: <https://developer.apple.com/swift/>
- [2] Apple Inc., *The Swift Programming Language*. 2014.
- [3] @adamjleonard, @thinkclay, and @cesar\_devers, "Swift Toolbox", 2014 [en línea]. Consultado el 30 de noviembre de 2015, disponible en: <http://www.swifttoolbox.io/>
- [4] "LLVM," 2000. [en línea]. Consultado el 30 de noviembre de 2015, disponible en: <http://llvm.org/>
- [5] C. A. Lattner, "LLVM : An Infrastructure for Multi-Stage Optimization," University of Illinois, 2002.
- [6] TIOBE Software BV, "TIOBE Index", 2014 [en línea]. Consultado el 30 de noviembre de 2015, disponible en: <http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>
- [7] C. Zapponi, "GitHub", 2014 [en línea]. Consultado el 30 de noviembre de 2015, disponible en: <http://github.info/>







## Modelo de investigación en ingeniería apoyado por la gestión del conocimiento

### Model engineering research supported by knowledge management

Luis Leonardo Rodriguez Bernal<sup>1</sup> Víctor Hugo Medina García<sup>2</sup> Lillyana María Giraldo Marín<sup>3</sup>  
Jose Fernando Lopez Quitero<sup>4</sup>

**Para citar este artículo:** Rodriguez, L.L., Medina, V.H., Giraldo, L.M. y Lopez, J.F. (2015). Modelo de investigación en ingeniería apoyado por la gestión del conocimiento. *Revista Redes de Ingeniería*. 6(2), 17-25.

**Recibido:** 19-agosto-2015 / **Aprobado:** 10-noviembre-2015

#### Resumen

Este artículo presenta un modelo de investigación en ingeniería basado en estrategias de gestión del conocimiento, el cual pretende mejorar las relaciones entre la academia, la investigación y la empresa, con el propósito de reducir la brecha existente entre el factor de información y de conocimiento, a fin de fortalecer la investigación en ingeniería.

Para dicho propósito se empleó la teoría de la complejidad aplicada a los grupos de investigación académicos, donde se espera relacionar las características que le son propias y aportar conjuntamente soluciones a los problemas de la sociedad actual, especialmente en la aplicación de las posibles innovaciones (nuevas o de conocimientos mejorados) encontradas con el apoyo de la empresa pública o privada.

**Palabras clave:** academia, empresa, gestión del conocimiento, ingeniería, investigación, modelo.

#### Abstract

This paper presents a model of research in engineering based on strategies for knowledge management, which aims to propose better relationships between the academy, the research and the business sector that look for bringing down the gap existed in the information field and knowledge to strengthen the research in engineering.

For this purpose, it was employed the complexity theory, applied to the academic research groups where it is expected to relate the features that are implicitly stated looking for providing common solutions to the problems presented in the current society; especially in the implementation of the possible innovations (new or improved knowledge) found with the support of the public or private companies.

**Keywords:** academy, engineering, enterprise, knowledge management, model, research.

1. Msc. Economía, Univesidad de los Andes, Colombia. Esp. Planifiacion y administracion del desarrollo regional, Univesidad de los Andes, Colombia. Docente de la Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital, Colombia. [llrodriguez@udistrital.edu.co](mailto:llrodriguez@udistrital.edu.co), [deoltda@hotmail.com](mailto:deoltda@hotmail.com).
2. Ingeniero de Sistemas, Universidad Distrital, Colombia. Doctorado En Ingeniería Informática, Universidad Pontificia de Salamanca. [vmedina@udistrital.edu.co](mailto:vmedina@udistrital.edu.co)
3. Facultad de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia, [lillyanagiraldo2012@gmail.com](mailto:lillyanagiraldo2012@gmail.com)
4. Corporacion unificada nacional de educacion superior CUN, Colombia. [jflopezq@hotmail.com](mailto:jflopezq@hotmail.com).

## INTRODUCCIÓN

En la universidad la investigación propone profundos cambios sociales que buscan una respuesta que conduzca a la transformación institucional, que mejore la relación entre la academia, la investigación y la empresa. Para lograr este propósito se pretende diseñar un modelo de gestión del conocimiento en el contexto universitario, apoyado por las TIC, que facilite y amplíe el desarrollo científico, técnico, educativo e intelectual.

Adicionalmente, la globalización del conocimiento con nuevos procesos y esquemas de desarrollo, busca generar un nuevo paradigma organizativo y educativo aplicado a la educación superior, donde se ofrezca educación y servicios de alta calidad. El capital intelectual y en especial el capital humano es la base que sustenta un modelo organizacional basado en gestión del conocimiento. La universidad ha acumulado el conocimiento en formas diferentes, tales como investigaciones, técnicas, modelos o procesos, modelos de aprendizaje, entre otros que se deben gestionar para ser competitivos.

Basados en el enfoque de un modelo organizacional, la universidad brinda a la academia el manejo de procesos que facilitan el seguimiento de actividades como: la docencia, los proyectos de investigación, la extensión, con nuevos programas académicos donde converjan la empresa y la universidad.

Con la gestión del conocimiento en la relación academia, investigación y empresa, se espera optimar la colaboración nacional e internacional de los investigadores o expertos de diferentes temas, aumentando así la interdisciplinariedad, mejorando la resolución de problemas complejos, lo cual busca aplicar los conocimientos avanzados en diferentes áreas de la investigación.

De igual manera, se debe concebir la dinámica de los grupos de investigación de las ciencias [1]

y es necesario ver los procesos de la investigación en ingeniería desde la perspectiva de la teoría de la complejidad [2], que hace referencia al sistema complejo adaptativo, que están en permanente interacción con su entorno; este es un sistema abierto donde fluye la información y la comunicación con el contexto, permitiéndole transformarse, adaptarse y evolucionar, con el propósito de permanecer en el tiempo.

## FUNDAMENTACIÓN DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO Y LA INVESTIGACIÓN

La gestión de conocimiento es un término nuevo en el entorno universitario, a pesar de que es bien sabido que la comunidad académica no conoce su alcance y muchas veces el significado que implica dicha gestión. Esta comunidad utiliza la información que pasa a través de los procesos de aprendizaje, resolución de problemas, planeación estratégica y toma decisiones en situaciones claves, sin añadir valor agregado a la misma. La gestión del conocimiento se emplea desde la enseñanza de lo social de parte de los padres a sus hijos o la enseñanza académica de los docentes a sus estudiantes.

Como argumenta Contreras [3], las organizaciones se han dado cuenta de que existen activos intangibles (la información y el conocimiento) que deben administrarse bien, para poder generar ventajas competitivas y así competir en una economía globalizada. A mediados de los 90 surge la gestión del conocimiento, definiéndose como el conjunto de procesos que guían el análisis, la propagación, la utilización y la transferencia de experiencias, información y conocimientos para generar valor agregado, entre todos los agentes de una organización.

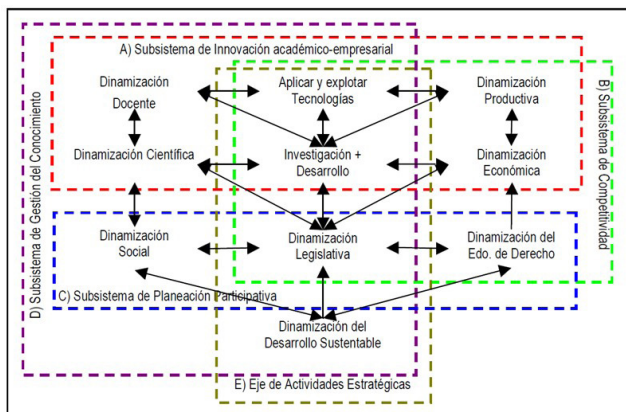
Esta investigación nace por lo tanto de la necesidad de generar un modelo de gestión del conocimiento para el desarrollo dinámico de la academia, la investigación y la empresa, en la cual se articula las ciencias de la ingeniería, teniendo como base una revisión sobre el tema de integración del

conocimiento y la experiencia interna-externa desarrollada en diferentes actividades de su funcionamiento, responsabilidad social y empresarial.

Para lograr esto, se abordó el tema desde la teoría de la complejidad teniendo en cuenta los sistemas adaptativos y los sistemas inteligentes, que ayudan a optimizar soluciones, abordándose desde los conceptos de redes o jerarquías, generando articulaciones entre las diferentes ciencias de la ingeniería.

Por otra parte, los empresarios no tienen información sobre la capacidad investigativa de las instituciones universitarias o su apoyo a posibles alternativas de soluciones oportunas (ofertas o demandas) puntuales del sector productivo y social.

En la figura 1 se aprecia la reacción sistemática de la academia, la investigación y la empresa, enfocados en la competitividad, la gestión del conocimiento y las actividades estratégicas. A partir del modelo sistémico se muestra las relaciones Académico- Empresariales, donde lo académico se refleja en la investigación y el desarrollo (dinámica científica), lo empresarial se refleja en la economía y la tecnología (dinámica productiva), teniendo en cuenta la innovación para ambos sectores. La organización de la interrelación de los subsistemas entre científico-tecnológico-productivas se basa en las funciones de los docentes y de las economías.



**Figura 1.** Modelo Sistémico de Relaciones Académico- Empresariales. Fuente: [4].

La economía actual no está en manos de factores como el capital físico (la tierra) o el capital financiero (bancos) para su progreso, hoy buena parte de la economía se fundamenta en su capital intelectual compuesto por los agentes del conocimiento (investigadores), dinamizándola mediante la funcionalidad entre los elementos de obtención, de generación, de aplicación, de apropiación y de explotación de conocimiento. Este nuevo enfoque explica como las empresas internamente acumulan conocimiento por experiencias vividas (aprendizaje), por rutinas organizativas mejorando su competitividad, [5].

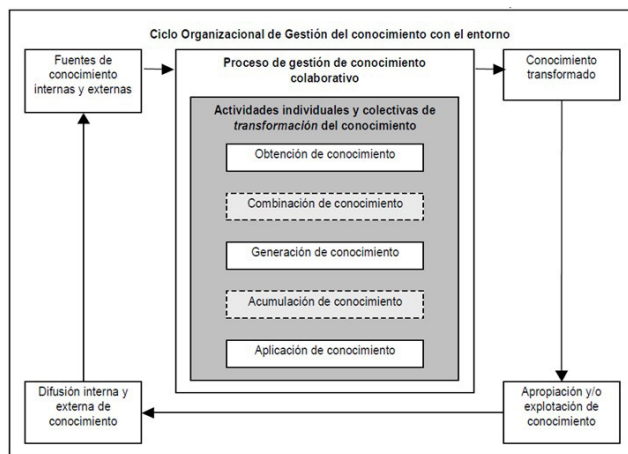
En la gestión del conocimiento la empresa se vuelve dinámica cuando adquiere conocimiento acumulado o mediante el aprendizaje en acción, generando nuevos conocimientos, donde participen actores internos y externos [6]. Esta dinámica reúne recursos, personas y esquemas complejos, que se coordinan por medio de la capacidad de aprendizaje que se optimiza por la repetición [7].

Existen sociedades organizadas con capital humano dedicado a la gestión de conocimientos como son las universidades, las empresas, los centros de investigación e innovación, los cuales tienen fuentes de conocimientos en un entorno de información y operación. [8]

Para nuestro caso de estudio, las actividades sensoriales e intelectuales básicas del proceso de gestión de conocimiento en una organización son: la obtención, la combinación, la generación, la acumulación y la aplicación de conocimiento, explicados en la figura 2.

Como se mencionó antes, mediante la generación de un modelo de gestión del conocimiento para el desarrollo de la academia, la investigación y la empresa, obedeciendo a una necesidad de unificar la información y el conocimiento de la ingeniería y la tecnología, en torno a los temas de investigación y proyectos conjuntos de desarrollo, que requiere

de manera permanente tanto profesores como estudiantes y egresados para consultar los avances de la ciencia, se permitirá la búsqueda de soluciones a problemas que plantea constantemente la naturaleza y en particular las áreas del conocimiento que se desarrollan en diferentes proyectos curriculares.



**Figura 2.** Modelo simplificado de la gestión de conocimiento en las organizaciones.

**Fuente:** [9].

Asimismo, el esquema organizacional está cambiando radicalmente, la masificación en las comunicaciones, en la globalización, no acepta una organización, si no está dispuesta a progresar. Las actividades desarrolladas en el entorno académico son interesantes, ágiles, convenientes, oportunas y vinculadas a la realidad social. El conocimiento socializado que ofrecen los medios de comunicación hace posible pensar en nuevas formas de educación con cobertura, calidad y disminución de los recursos de inversión.

Además de mejorar los mecanismos con los cuales podamos optimizar los procesos académicos de la universidad, a tal punto que sea uno de los ejes del desarrollo del país.

Se pretende entonces la implementación de un modelo de gestión del conocimiento en el contexto universitario, aplicar un nuevo esquema

organizacional apoyado en los tres nodos que ofrecen la academia, la investigación y la empresa, centrados en la generación de un sistema de gestión del conocimiento.

## MODELO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA APOYADO EN LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

El modelo se basa en un contexto socio-cultural y estratégico-evaluativo (figura 3), donde se muestra la relación entre la academia, la investigación y la empresa, se apoya en agentes facilitadores que hacen una gerencia del conocimiento creando un equilibrio de adaptación a los cambios sociales, tecnológicos y económicos, en forma eficaz y óptima. Los componentes (investigación, academia y empresa) contienen recursos basados en el conocimiento que se generan y transfieren mediante relaciones dentro de la red [10].

Los tres nodos interrelacionados: academia, investigación y empresa, asemejan la coexistencia de la universidad y la empresa, cada vez más compleja, interconectada y cambiante, con una perspectiva apoyada por la investigación. Además, se concibe una intersección central entre ellos, que es el núcleo de todo el modelo: la gestión de conocimiento, la cual pretende ser el impulsor del fortalecimiento interinstitucional. Los nodos, constituyen vértices que podrían denominarse el “triángulo inter-institucional” en permanente contacto e interacción, donde fluye la información y el conocimiento apoyados por la tecnología que facilita su proceso. Este modelo se enmarca dentro del ámbito de una sociedad cambiante.

Los nodos del triángulo institucional contienen sub-nodos relacionados entre sí, generando otro nivel de enfoque, estos a su vez contiene otros sub-nodos con otros niveles de enfoque, así se repiten sucesivamente hasta una representación comprensible del modelo en red. Sin embargo, el esquema funcional de jerarquías es un nivel de redes de interconectadas que no afecta la gestión del conocimiento.



**Figura 3.** Modelo de investigación en ingeniería apoyado en la gestión del conocimiento.

Conceptualmente, en el modelo las organizaciones logran sus objetivos mediante el desempeño de sus agentes facilitadores y la ejecución de sus procesos [11].

En la academia y la empresa, los agentes facilitadores, son los elementos que nos van a permitir impulsar las acciones de la política de la organización universitaria o empresarial, y el cumplimiento de dichas acciones se evalúa de acuerdo al comportamiento de una serie de indicadores que facilitarían la identificación, desarrollo y retención del conocimiento, en definitiva permitirán mantener o cumplir la misión de la organización.

Como se aprecia en el modelo, los agentes facilitadores se asocian a un nodo determinado que proporciona un área delimitada de conocimiento que poseen distintos indicadores que facilitan la decisión sobre las propuestas para la obtención de la estrategia. Los indicadores son unidades de medida que registran la dinámica de los procesos y los desempeños, comprobando la obtención de los objetivos según la misión de una institución [12].

En la práctica, el modelo presenta una abstracción de las relaciones que se puede generar entre la

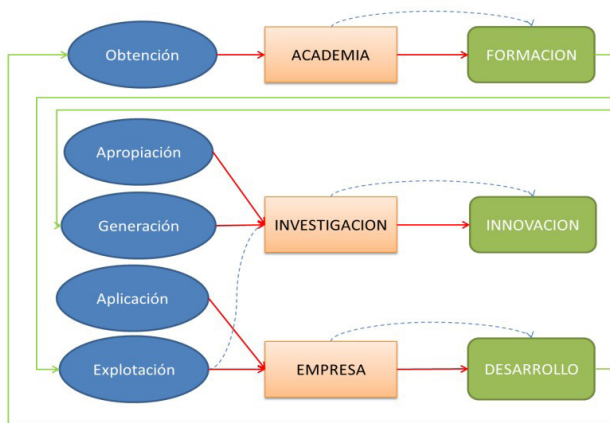
academia, la investigación y la empresa, donde: la academia como institución genera el soporte organizativo y logístico, para la investigación en la formación de pregrado, maestría y doctorado; pero a su vez también genera desarrollo en la ingeniería y la tecnología, a fin de suplir las necesidades y recibir los recursos de las empresas. Por otra parte, la investigación desde la formación de pregrado, maestría y doctorado genera innovación para las empresas que tienen necesidades y le brinda recursos como soporte sostenible de esta relación. En la intersección de los tres nodos se concibe el conocimiento como fuente de poder central que aporta valor a la organización, que se apoya en las acciones que ayuden a una gestión del conocimiento apropiada.

Por último, la integración en lo académico, lo organizativo y lo logístico se consolida físicamente en el soporte de un centro de investigación científico y tecnológico en ingeniería de una institución superior, donde se aplicará para su funcionamiento el modelo de gestión del conocimiento propuesto.

## SIMULACIÓN DE LA RELACIÓN DE LA ACADEMIA, LA INVESTIGACIÓN Y LA EMPRESA

Para nuestro caso y en forma general, se puede crear una relación directa e indirecta entre las variables de aplicación, generación, obtención, apropiación y explotación del conocimiento con respecto a la academia, investigación y empresa; de tal manera que genera resultados como la formación, el desarrollo y la innovación. Además, se retroalimentan las variables iniciales y generan unos ciclos de mejoramiento en la gestión del conocimiento. La figura 4 explica dicho proceso.

La obtención del conocimiento tiene una relación directa con la academia, porque se trata de la capacitación y otras actividades que reciben los profesores para que posteriormente se encarguen de la preparación y de la formación o transferencia del conocimiento a otras personas académicas o administrativas.



**Figura 4.** Relaciones de las variables de un modelo de gestión de conocimiento en entidades académicas.

La apropiación y generación del conocimiento tiene una relación directa con la investigación, porque las patentes y las investigaciones generan procesos de innovación del conocimiento.

La aplicación y explotación del conocimiento tiene una relación directa con la empresa, pues por medio de la extensión se genera desarrollo, tanto para ella como para la sociedad.

Siendo un sistema dinámico de conocimiento, todas sus partes están interrelacionadas, pero para nuestro caso de análisis se generan las relaciones indirectas entre la explotación del conocimiento e investigación como soportes de recursos técnicos y económicos, además se tienen las relaciones indirectas como regulación de cada stock según su producto.




Por último, podemos conceptualizar que un sistema dinámico de conocimiento se retroalimenta de los productos hacia las variables para continuar el ciclo de crecimiento en espiral.

### Elaboración de los modelos matemáticos y de simulación

Para nuestro ejemplo se aplicó el software Ithink 8, con el propósito de comprender el

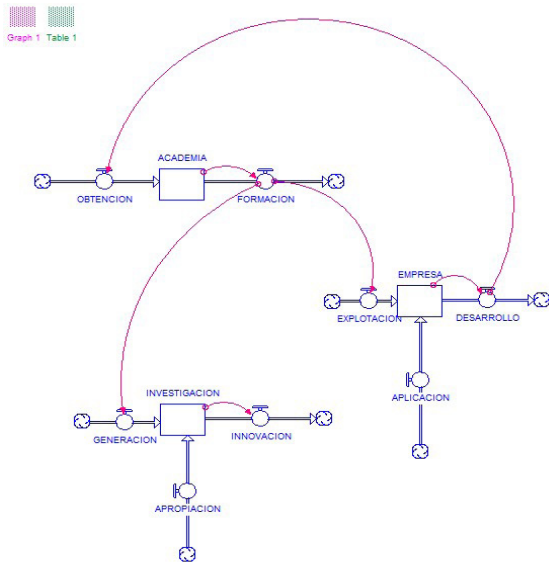
funcionamiento del programa se muestran los bloques constructores en Ithink [13], donde se modelaron algunas relaciones básicas, que se explican en la tabla 1.

**Tabla 1.** Relaciones básicas en Ithink.

 <p>Nivel</p>	<p><i>Nivel:</i> representa las acumulaciones de los <i>stocks</i>, lo que se almacena</p>
 <p>Flujo</p>	<p><i>Flujo:</i> tasa de cambio de un nivel, o niveles. Pueden ser de entrada (llenar) o de salida (desocupar)</p>
 <p>Conect</p>	<p><i>Conector:</i> pasa información entre niveles, convertidores y reguladores de flujos</p>

En el programa el modelo de relación que existe entre los diferentes niveles de stock en la academia, la investigación y la empresa, se alimentan de unos flujos (tasa de cambio), como: la obtención, explotación, aplicación, generación y apropiación del conocimiento (variables). Pero también se muestra que se genera una forma de relación de retroalimentación en la academia con la formación, la empresa con el desarrollo y la investigación con la innovación, que tiene una retroalimentación con el desarrollo; y por último, la investigación tiene un grado de retroalimentación con la innovación. Dicha relación se ve en las ecuaciones que más adelante se muestran.

La academia mediante la formación colabora con la empresa (exploración) y con la investigación (generación), a su vez la empresa (desarrollo) colabora con la academia (obtención), y en conjunto optimizan la gestión del conocimiento en entidades académicas, como se demuestra en este prototipo propuesto para el análisis, aunque se pueden proponer más casos. Lo anterior se explica en la siguiente figura:



**Figura 5.** Relaciones de las variables de un modelo de gestión de conocimiento en entidades académicas representado en el programa Ithink 8.

Por último, se muestra las ecuaciones que se utilizaron en el ejemplo del caso donde se modelaron unas reglas y relaciones de los diferentes niveles, flujos y conectores, (figura 6) :

- $ACADEMIA(t) = ACADEMIA(t - dt) + (OBTENCION - FORMACION) * dt$   
 INIT ACADEMIA =  $OBTENCION * 0.5$   
 INFLOWS:  
 ↳  $OBTENCION = DESARROLLO * 0.2$   
 OUTFLOWS:  
 ↳  $FORMACION = ACADEMIA * 0.5$
- $EMPRESA(t) = EMPRESA(t - dt) + (EXPLORACION + APLICACION - DESARROLLO) * dt$   
 INIT EMPRESA =  $APLICACION * 0.2$   
 INFLOWS:  
 ↳  $EXPLORACION = FORMACION * 0.7$   
 ↳  $APLICACION = 20$   
 OUTFLOWS:  
 ↳  $DESARROLLO = EMPRESA * 0.2$
- $INVESTIGACION(t) = INVESTIGACION(t - dt) + (GENERACION + APROPIACION - INNOVACION) * dt$   
 INIT INVESTIGACION =  $(GENERACION + APROPIACION) * 0.3$   
 INFLOWS:  
 ↳  $GENERACION = FORMACION * 0.3$   
 ↳  $APROPIACION = 10$   
 OUTFLOWS:  
 ↳  $INNOVACION = INVESTIGACION * 0.60$

**Figura 6.**

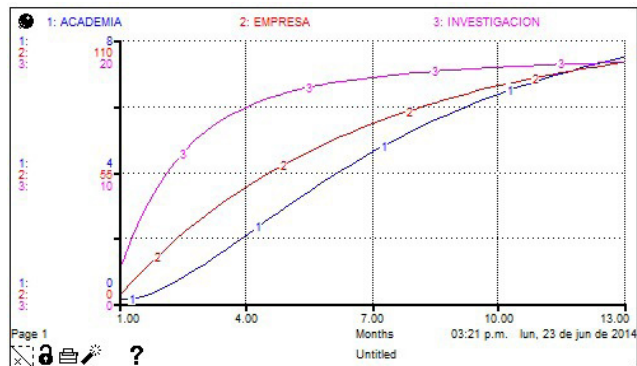
En la tabla 2 se representa la variación de las acumulaciones, los stocks de la academia, la investigación y la empresa a través del tiempo con la cual se construyó el modelo. Donde se mostraba cómo se generarían niveles de la acumulación de conocimiento.

Months	ACADEMIA	EMPRESA	INVESTIGACION
1.00	0.08	4.00	3.00
1.25	0.11	8.81	5.06
1.50	0.18	13.38	6.80
1.75	0.30	17.72	8.29
2.00	0.44	21.86	9.56
2.25	0.60	25.81	10.64
2.50	0.78	29.57	11.57
2.75	0.98	33.16	12.36
3.00	1.19	36.59	13.04
3.25	1.41	39.86	13.63
3.50	1.63	42.99	14.14
3.75	1.86	45.99	14.58

**Tabla 2 .** Variación de las acumulaciones de la academia, la investigación y la empresa.

Este cuadro representa las acumulaciones de los stocks de la academia, la investigación y la empresa, que se genera en los niveles de la acumulación de conocimiento. Es de aclarar que esto es una simulación somera de la realidad, pero en la cual se sigue investigando y simulando.

Se concluye que usando un software como Ithink podemos aplicar una dinámica de sistemas, para modelar sus niveles, sus flujos y sus conectores de las relaciones existentes de un sistema, como el propuesto donde interviene la academia, la investigación y la empresa, y poder simular, validar y probar con datos más específicos y reales. Para el ejemplo se puede ver que existirá un punto de equilibrio donde se generara desarrollo estable en la gestión de conocimiento en entidades académicas. Lo anterior se demuestra en la figura 7.



**Figura 7.** Niveles de acumulación del conocimiento en la academia, la investigación y la empresa.

## CONCLUSIONES

En este artículo se ha planteado un modelo de investigación en ingeniería apoyado por la gestión del conocimiento en una organización universitaria, el cual pretende demostrar la necesidad de cambiar o mejorar las estructuras tradicionales o clásicas por un modelo de funcionamiento más funcional, ágil y eficiente que permita redefinir las áreas para la producción, la difusión e intercambio del conocimiento, apoyándose en las TIC.

La academia en función de la universidad debe iniciar reformas estructurales, reformas organizacionales y reformas financieras que solucionen problemas de acceso tecnológico, participativo y globalizado, para las nuevas formas de aprendizaje y formación académica.

En otros términos, el modelo plantea en esencia la necesidad de generar una adecuada relación entre la academia, la investigación y la empresa, todo esto con el fin de fortalecer la gestión del conocimiento en función de obtener beneficios de impacto para la comunidad.

Con el desarrollo de este modelo se integrarán los componentes administrativos, logísticos y académicos, buscando consolidar un centro de investigación científico y tecnológico en ingeniería de una institución de educación superior, tomando como referencia otros institutos de investigación ya existentes.

## REFERENCIAS

- [1] S. Monroy. "Dinámica de los grupos de investigación. El caso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia", *Ing. Investigación*. vol.31, 2011 [en línea]. Consultado el, disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092011000400008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092011000400008&script=sci_arttext)
- [2] E. Morin. *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa, 2004 [en línea].

Consultado el, disponible en: <http://www.dnp.gov.co/PND/PND20102014.aspx>

- [3] L. C. Contreras. *Modelo de gestión del conocimiento en la universidad soportado por las redes sociales como facilitador de las relaciones academia-empresa* (Tesis de Master). Madrid: Universidad Internacional de la Rioja, 2012.
- [4] B. A. Fuentes. Análisis de las Actividades de Gestión de Conocimiento en las relaciones entre el Sector Académico y el Sector Empresarial. El caso del Sistema Mexicano de Educación Superior Tecnológica. En: *4° Congreso Internacional IDEAS. Cd. de México*, 7-9 junio, cit. pp. 39, 56, 59, 2006.
- [5] I. Nonaka & H. Takeuchi. The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. *Long Range Planning*, 29(4), 592, 1996 [en línea]. Consultado el, disponible en: doi:[10.1016/0024-6301\(96\)81509-3](https://doi.org/10.1016/0024-6301(96)81509-3)
- [6] L. Zapata Cantú. *Los determinantes de la generación y la transferencia del conocimiento en pequeñas y medianas empresas del sector de las tecnologías de la información de Barcelona* (Tesis Doctoral). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès, cit. pp. 108, 109. 2004.
- [7] R. M. Grant. *Dirección Estratégica*. Madrid: Civitas, cit. pp. 109. 1998.
- [8] J. B. Barney. "Firm resources and sustained competitive advantage". *Journal of Management*, No. 17, pp. 99-120, cit. pp. 106, 109, 120, 129. 1991.
- [9] B. A. Fuentes & J. Albors. University-Industry Relationships within a Knowledge Management Framework: Empirical Evidence in the Case of the Mexican Technology Institute Network. En: *The 7th International CINet Conference*, [327] Lucca: Italy, 8-12 September, pp. 327-337, cit. pp. 135, 137. 2006.
- [10] V. H. Medina, N. Pérez, y J. Torres. *La Investigación en Ingeniería: Ciencia y Tecnología de la Información y del Conocimiento* (p. 360). Bogotá: Fondo de Publicaciones de la Universidad Distrital, 2011.



- [11] C. Benavides Velasco y C. Quintana García, C. *Gestión del conocimiento y calidad total*. Madrid: Ed. Díaz de Santos, 2003.
- [12] V. H. Medina, C. R. Correa and L. Contreras, *Knowledge Management model KMO 2013*. Taiwan: Ed. Springer-Verlag Berlin. Kaohsiung, 2013.
- [13] C. Olaya. *Taller tutorial itthink "Un modelo de población"*, Bogotá D.C.: Universidad de los Andes, S.f. [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://es.scribd.com/doc/94726564/Tutorial-de-lthink-Un-Modelo-de-Poblacion#scribd>





## Solución de la ecuación no lineal de Schrodinger (1+1) en un medio Kerr

### Solution of the nonlinear Schrodinger equation (1+1) in a Kerr medium

Francis Segovia Chaves<sup>1</sup> Emilse Cabrera<sup>2</sup>

**Para citar este artículo:** Segovia, F. y Cabrera, E. (2015). Solución de la ecuación no lineal de Schrodinger (1+1) en un medio Kerr. *Revista Redes de Ingeniería*. 6(2), 26-32.

Recibido: 22-mayo-2015 / Aprobado: 11-noviembre-2015

#### Resumen

Se presenta un marco teórico y se muestra una simulación numérica de la propagación de solitones. Con especial atención a los solitones ópticos espaciales, se calcula analíticamente el perfil de solitón correspondiente a la ecuación Schrodinger no-lineal para un medio Kerr. Los resultados muestran que los solitones ópticos son pulsos estables cuya forma y espectro son preservados en grandes distancias.

**Palabras clave:** ecuación de Schrodinger no lineal, óptica no lineal, solitones.

#### Abstract

This document presents a theoretical framework and shows a numerical simulation for the propagation of solitons. With special attention to the spatial optical solitons, we calculates analytically the profile of solitón corresponding to the non-linear Schrodinger equation for a Kerr medium. The results show that the optical solitons are stable pulses whose shape and spectrum are preserved at great distances.

**Keywords:** nonlinear optics, nonlinear Schrodinger equation, solitons.

1. Físico, Universidad de Nariño; magíster en Física, Universidad del Valle; Doctor (c) en Física, Universidad Nacional de Colombia; profesor asistente, programa de Física, Universidad Surcolombiana. Contacto: francis.segovia@usco.edu.co, francis.segoviac@gmail.com
2. Estudiante de pregrado, programa de Física, Universidad Surcolombiana. Contacto: emili\_9613@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la física no lineal se remonta a 1834, cuando el ingeniero escocés John Scott Russell, al encontrarse en el canal Unión en Herminston, registra el movimiento de traslación de una onda sin cambiar su forma al propagarse a una gran distancia de alrededor tres kilómetros [1]. Fue hasta 1871, cuando el Boussineq publica el formalismo físico-matemático para explicar las observaciones de Russell. En 1895 los matemáticos holandeses Korteweg y De Vries modelan las observaciones de Russell por medio de una ecuación diferencial parcial no lineal llamada ecuación KdV [2]. En 1965 los físico-matemáticos, Norman Zabusky y Martin Kruskal, realizaron los primeros trabajos en la obtención de soluciones numéricas de la ecuación KdV, demostrando así la existencia de ondas solitarias que se mantenían propagando permanentemente sin sufrir deformación alguna, denominaron a dichas soluciones no lineales solitones [3], [4].

Los solitones son ondas solitarias capaces de propagarse sin distorsión a través de sistemas no lineales, es decir, sistemas cuyo comportamiento está gobernado por ecuaciones diferenciales no lineales [5]. La formación de los solitones abarca diversos sistemas en la naturaleza, desde su formación en los canales de agua, hasta su existencia en fibras ópticas, en los impulsos eléctricos de las neuronas, en procesos de condensación de Bose Einstein y en la teoría de las cuerdas [6], [7], [8], [9]. Podemos encontrar diferentes clases de solitones: brillantes, oscuros, topológicos, no topológicos, solitones de Bragg, solitones vectoriales, solitones tipo vórtice, solitones espacio-temporales, solitones discretos y solitones embebidos [10], [11], [12]. En general, los solitones representan un fenómeno natural que ocurre bajo ciertos mecanismos de diversa naturaleza (mecánica, óptica, etc.) y puede explicarse matemáticamente como una solución a una ecuación de onda cuyo carácter no lineal permite soluciones en la forma de paquetes de onda localizados.

Este tipo de pulso tiene la facultad de propagarse sin distorsión con un adecuado balance entre un fenómeno no lineal y un fenómeno dispersivo [13]. Vale resaltar que en el campo de las telecomunicaciones, las características no lineales y dispersivas de las fibras ópticas les permiten transmitir solitones [14]. Se encuentra, en ellas el estudio de los efectos no lineales, entre los cuales se encuentra la propagación de solitones, los cuales son pulsos estables de luz infrarroja que pueden propagarse a lo largo de las fibras, por cientos de kilómetros, sin prestar distorsión en su perfil temporal ni en su espectro de frecuencias.

Desde un punto de vista óptico podemos distinguir dos principales tipos de solitones: si los fenómenos no lineales logran contrarrestar el fenómeno de dispersión cromática (fenómeno donde diferentes longitudes de onda viajan a diferentes velocidades) produciendo una invarianza del perfil en el tiempo, se habla de un solitón óptico temporal, mientras que si la no linealidad contrarresta la difracción y la invarianza del haz es producida en alguna coordenada espacial, se habla entonces de un solitón óptico espacial. Teniendo en cuenta la descripción dada en el trabajo [4], debe tenerse en cuenta que cuando un haz de luz láser se propaga en un medio no lineal, se modifica el índice de refracción, de tal manera que este aumente como resultado de una mayor intensidad del láser produciendo así el fenómeno de auto enfocamiento del haz óptico, y oponiéndose así a la tendencia natural del haz de experimentar una divergencia debido al fenómeno de difracción [15].

Cuando existe un balance del fenómeno de auto enfocamiento y de difracción el haz no sufre deformación, creándose así un solitón óptico espacial. En el presente trabajo nos concentraremos en estudiar solitones óptico espaciales en medios materiales no lineales tipo Kerr, donde el índice de refracción presenta una dependencia lineal con la intensidad del campo. El propósito del presente trabajo es presentar una revisión en la

solución analítica de la ecuación de Schrödinger no lineal unidimensional. Para ello seguiremos los lineamientos dados en el trabajo de S. López Aguayo y colaboradores, quienes presentan una revisión completa de los resultados analíticos y las simulaciones numéricas en el estudio concerniente a la propagación de solitones ópticos cuando se resuelve la ecuación de Schrodinger no lineal.

## MÉTODOS

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera: haciendo uso de la aproximación paraxial, deduciremos la ecuación no lineal de Schrodinger, ecuación que será solucionada analíticamente para encontrar el perfil de propagación del solitón.

Las leyes fundamentales de la electrodinámica vienen determinadas por las ecuaciones de Maxwell, en el sistema internacional se escriben [16],

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0. \quad (1)$$

En la ecuación (1),  $\vec{E}(\vec{r}, t)$  y  $\vec{D}(\vec{r}, t)$  representa respectivamente los vectores de campo eléctrico y de desplazamiento eléctrico. El vector  $\vec{B}(\vec{r}, t)$  representa la inducción magnética y  $\vec{H}(\vec{r}, t)$  el vector de campo magnético. Las fuentes de los campos electromagnéticos se representan por la densidad volumétrica de carga eléctrica  $\rho(\vec{r}, t)$  y el vector de densidad de corriente eléctrica  $\vec{J}(\vec{r}, t)$ . Estas ecuaciones se complementan con las ecuaciones constitutivas o relaciones materiales; para medios lineales, homogéneos e isótropos vienen determinadas por [17]:

$$\vec{D}(\vec{r}, t) = \epsilon \vec{E}(\vec{r}, t) \quad \text{y} \quad \vec{B}(\vec{r}, t) = \mu \vec{H}(\vec{r}, t) \quad (2)$$

Los parámetros que caracterizan las propiedades materiales y eléctricas de los medios materiales que aparecen en la ecuación (2), se representan por  $\epsilon$  la permitividad dieléctrica y  $\mu$  la permeabilidad magnética. En ausencia de fuentes ( $\rho = 0$  y  $\vec{J} = 0$ ), la ecuación de onda de D' Alembert para el vector de campo óptico es:

$$\nabla^2 \vec{E}(\vec{r}, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (3)$$

En la ecuación (3), la constante de la velocidad de la luz en el vacío es  $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ . Consideramos un vector de campo  $\vec{E}(\vec{r}, t)$  cuasi-monocromático,

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{\epsilon}(\vec{r}) e^{-i\omega t}, \quad (4)$$

Donde las cantidades  $\vec{\epsilon}(\vec{r})$  y  $\omega$  que aparecen en la ecuación (4), son el vector de amplitud del campo eléctrico y la frecuencia angular, respectivamente. Al reemplazar la ecuación (4) en la ecuación (3) y teniendo en cuenta que el cuadrado del vector de onda es  $k^2 = n^2 k_0^2$ , siendo  $k_0 = 2\pi/\lambda$  el número de onda en el vacío,  $\lambda$  la longitud de onda y  $n$  el índice de refracción, se obtiene:

$$\nabla^2 \vec{\epsilon}(\vec{r}) + n^2 k_0^2 \vec{\epsilon}(\vec{r}) = 0 \quad (5)$$

Si el medio material posee una no-linealidad del tipo Kerr, el índice de refracción se escribe

$$n = n_0 + n_2 |E|^2 \quad (6)$$

En la ecuación (6),  $n_0$  y  $n_2$  representan los índices de refracción lineal y no lineal, respectivamente. Para solucionar la ecuación (5), consideramos que la dirección de propagación del campo coincide con el eje z, se propone una solución de la forma

$$\vec{\epsilon}(\vec{r}) = \psi(\vec{r}) e^{i\beta_0 z} \quad (7)$$

donde hemos definido  $\beta_0 = k_0 n_0$ . Reemplazando (6) en (5) se encuentra

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + 2i\beta_0 \frac{\partial \psi}{\partial z} + (n^2 k_0^2 - n_0^2 k_0^2) \psi = 0 \quad (8)$$

En la aproximación paraxial se considera que la envolvente transversal de campo varía suavemente a lo largo de la dirección de propagación, de manera que

$$\left| \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right| \ll \left| 2\beta_0 \frac{\partial \psi}{\partial z} \right| \quad (9)$$

Al tener en cuenta la ecuación (9), en la ecuación de onda (8) obtenemos la ecuación reportada en [4],

$$i\beta_o \frac{\partial \psi}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right] + \frac{1}{2} (n^2 k_0^2 - n_0^2 k_0^2) \psi = 0 \quad (10)$$

Reemplazamos en la ecuación (10), el índice de refracción dado por la ecuación (6) y manteniendo solo el término a primer orden en  $n_2$  ( $n_2 \ll n_o$ ), se obtiene la ecuación que rige la evolución del campo a través de un material tipo Kerr.

$$i\beta_o \frac{\partial \psi}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right] + \frac{\beta_o k_o}{2} n_2 |\psi|^2 \psi = 0 \quad (11)$$

Para resolver la ecuación (11), hacemos el siguiente cambio de variables:

$$\mathbf{x} = x/\omega_o, \quad y = y/\omega_o, \quad z = z/\omega_o \quad \text{y} \quad u = \sqrt{k_o L_d |n_2|} \psi. \quad (12)$$

Donde  $\omega_o$  es un parámetro de escala transversal relacionado con el ancho del haz inicial  $L_d = \beta_o \omega_o^2$ , es conocida como la distancia de Rayleigh o la distancia de difracción, para  $n_2 > 0$ , es la distancia característica de la no-linealidad. Se demuestra que la ecuación (11) se logra escribir de manera adimensional teniendo en cuenta la ecuación (12), así

$$i \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial \mathbf{x}^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + |u|^2 u = 0 \quad (13)$$

La ecuación (13) es conocida como la ecuación no lineal de Schrödinger (NLSE, por sus siglas en inglés, Nonlinear Schrödinger Equation). Se dice que esta ecuación es (2+1) dimensional, donde el 2 se refiere al número de dimensiones transversales del haz y el +1 corresponde a la dirección de propagación en  $z$  [18].

La solución de NLSE ha sido estudiada mediante el método de dispersión inversa, para el presente trabajo se trabajará por simplicidad únicamente con la NLSE (1+1) dimensional,

$$i \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \mathbf{x}^2} + |u|^2 u = 0 \quad (14)$$

Proponemos una solución solitónica de la forma

$$U(\mathbf{x}, z) = f(\mathbf{x}) e^{inz} \quad (15)$$

Donde  $f(\mathbf{x})$  y  $n$  son funciones a determinar. Se reemplaza la ecuación (15) en la ecuación (14) y resulta lo siguiente:

$$\frac{d^2 f}{d\mathbf{x}^2} - n f + f^3 = 0. \quad (16)$$

Teniendo en cuenta que  $f'(\mathbf{x})f''(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \frac{d}{d\mathbf{x}} (f'(\mathbf{x})f'(\mathbf{x}))$  se multiplica la ecuación (16) por  $2 \frac{df}{d\mathbf{x}}$  y se integra para obtener:

$$\left( \frac{df}{d\mathbf{x}} \right)^2 = n f^2 - \frac{1}{2} f^4 + A \quad (17)$$

En la ecuación (17)  $A$  es una constante de integración, para nuestros cálculos como caso particular elegimos que  $A = 0$ . Resolviendo la ecuación (17) para  $df/dx$ , se obtiene:

$$\frac{df}{d\mathbf{x}} = \sqrt{n} f(\mathbf{x}) \sqrt{1 - \frac{1}{2n} f^2(\mathbf{x})} \quad (18)$$

Para solucionar la ecuación (18) consideremos el siguiente cambio de variable [19],

$$\sqrt{\frac{1}{2n}} f(\mathbf{x}) = \text{sech } \theta \quad (19)$$

Reemplazamos la ecuación (19) en la ecuación (18) y después de resolver las integrales se obtiene,

$$\theta = -\sqrt{n} \mathbf{x} \quad (20)$$

La solución buscada para la ecuación (16), teniendo en cuenta la ecuación (20), viene dada por:

$$f(\mathbf{x}) = \sqrt{2n} \text{sech}(\sqrt{n} \mathbf{x}) \quad (21)$$

Para determinarse la constante  $n$ , en la función puramente real la ecuación (21), se imponen las siguientes condiciones:

$$f(\mathbf{x}) = \alpha \quad \text{y} \quad \frac{df}{d\mathbf{x}} = 0 \quad \text{para} \quad \mathbf{x} = 0 \quad (22)$$

$$f(\mathbf{x}) \rightarrow 0 \quad \text{y} \quad \frac{df}{d\mathbf{x}} \rightarrow 0 \quad \text{para} \quad \mathbf{x} \rightarrow \infty \quad (23)$$

Reemplazamos en la ecuación (17), las condiciones dadas por la ecuación (22) y la ecuación (23), obteniendo el valor de la constante

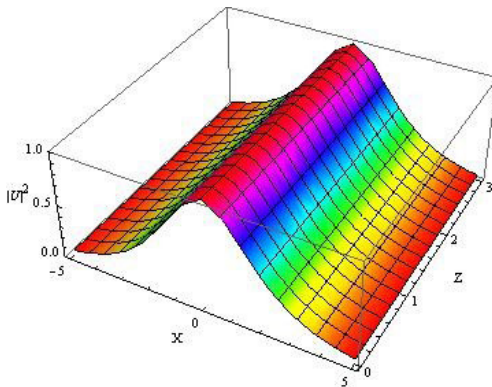
$$n = \frac{a^2}{2} \tag{24}$$

Finalmente, se sustituyen los resultados dados por las ecuaciones (21) y (24) en la ecuación (15)

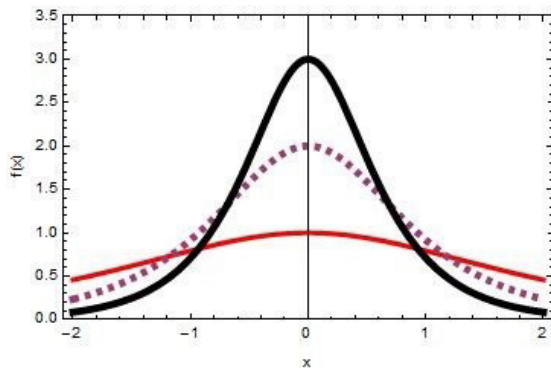
$$u(x, z) = a \operatorname{sech}\left(\frac{a^2}{\sqrt{2}}x\right) e^{ia^2z/2} \tag{25}$$

Siendo  $a$  un número real y representa la amplitud del solitón. El resultado obtenido por la ecuación (25), representa la solución analítica de la ecuación NLS (1+1) dimensional.

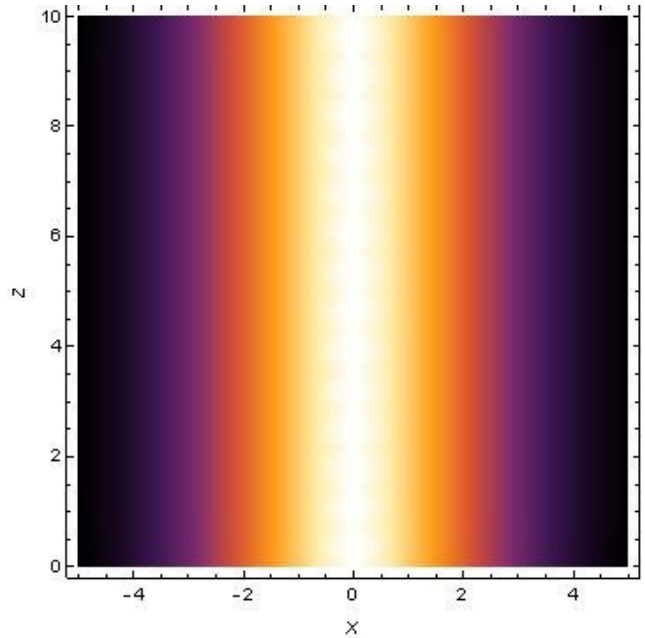
## RESULTADOS



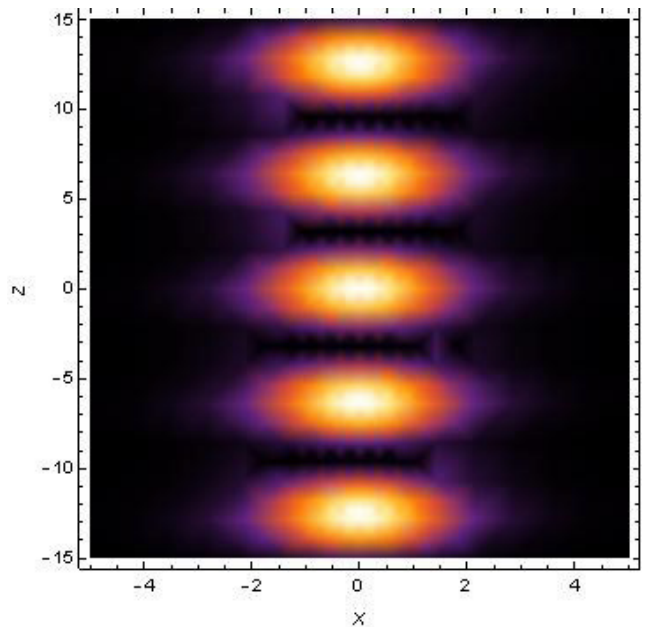
**Figura 1.** Solitón espacial brillante fundamental dado por la ecuación (25) con  $a = 1$ .



**Figura 2.** Perfil de la solución solitónica dada por la ecuación (21) con  $a = 1, 2$  y  $a = 3$ .



**Figura 3.** Propagación del solitón representado por la ecuación (25) con  $a = 1$ .



**Figura 4.** Intensidad del solitón con  $a = 1$ .

## DISCUSIÓN

La ecuación (25), representa un haz cuya sección transversal no cambia conforme se propaga en el medio como se muestra en la figura 1. En ella se

observa que el perfil transversal del haz evoluciona periódicamente a lo largo del eje de propagación, generándose compresiones, máximos locales y volviéndose a ensanchar, recuperando la forma  $u(x,0) = \alpha \operatorname{sech}\left(\frac{\alpha^2}{\sqrt{2}}x\right)$ , [4], [19]. En la figura 2 presentamos los perfiles para las soluciones de la ecuación (21), con tres valores diferentes de amplitud del solitón. La curva color gris es para  $\alpha = 1$ , la curva a trazos es para  $\alpha = 2$  y la línea continua negra es para  $\alpha = 3$ . Como se describe en el trabajo [4], se encuentra un proceso no lineal de auto-enfocamiento en el que existe un balanceo con el fenómeno inherente de difracción de la luz, resultando así que se propague un haz óptico invariante. Lo anterior se observa en la figura 3, en ella se presenta la propagación de un haz descrito por la ecuación (25), se observa de manera general que dicho haz se comporta de manera periódica durante su propagación en el medio Kerr. El solitón mantiene su perfil incluso para cualquier valor de  $z$ , formando así su propia guía de onda durante toda la propagación, lo cual se aprecia claramente en la figura 4. Los resultados que se presentan son importantes ya que nos muestran que el comportamiento de los solitones al propagarse a lo largo de las fibras ópticas en los sistemas de transmisión de información, pues pueden contrarrestarse los efectos de dispersión, lo que hace posible transmitir pulsos más cortos a grandes distancias.

## CONCLUSIONES

Hemos presentado una introducción en el área de la física no lineal, en especial en la teoría básica sobre solitones ópticos concentrándonos en los solitones espaciales unidimensionales en presencia de un medio no lineal tipo Kerr. La ecuación de Schrödinger no lineal es común en sistemas débilmente no lineales pero fuertemente dispersivos. Al igual como ocurre en otro tipo de ecuaciones no lineales de la física matemática, existe un equilibrio entre la no linealidad y la dispersión, dando lugar a propiedades y características importantes

en las soluciones de esta ecuación, como son los solitones. En el presente trabajo ilustramos una solución particular para la ecuación no lineal de Schrödinger, que nos permite evidenciar el empleo de los solitones espaciales como guías de ondas. Es decir, se observa que el comportamiento de los solitones a propagarse a lo largo de fibras ópticas es importante para los sistemas de transmisión de información, ya que al contrarrestarse los efectos de dispersión de primer orden es posible transmitir pulsos más cortos a mayores distancias, permitiendo reducir los costos de implementación y funcionamiento de un sistema comunicaciones óptico. Los resultados obtenidos esta en concordancia con los reportados en [20], donde solucionan numéricamente la ecuación de Schrödinger no lineal por el método de descomposición ortogonal evidenciando la no distorsión de perfil a lo largo de una guía de propagación del pulso.

## REFERENCIAS

- [1] P.G. Drazin and R. S. Johnson. *"Solitons: an Introduction"*, Cambridge: Ed. Cambridge University Press, pp. 1-17, 1996.
- [2] D. J. Korteweg and G. de Vries. *"Philosophical Magazine, 5<sup>th</sup> series"*, vol. 39, 422- 443, 1895.
- [3] N. J. Zabusky and M. D. Kruskal. "Interaction of solitons in a collision less plasma and the recurrence of initial states", *Phys. Rev. Lett.*, vol 15, 240-243, 1965.
- [4] S. López, M. Esparza, G. Lem y J. C. Gutiérrez. "Ondas solitarias no lineales: una introducción a los solitones ópticos espaciales", *Rev. Mex. Fis.*, vol 60, 39-50, 2014.
- [5] Y. Kivshar and G. Agrawal. *"Optical solitons"*, USA: Ed. Academic Press, 2003.
- [6] M. Segev. "From the Guest Editor-Solitons: A Universal Phenomenon of Self-Trapped Wave Packets", *Opt. Photonics news*, vol.13, 27, 2002.
- [7] F. Wise and P. Di Trapani. "Spatiotemporal Solitons", *Opt. Photonics news*, vol. 13, 28-32, 2002.

- [8] F. V. Kusmartsev. "Application of catastrophe theory to molecules and solitons", *Phys. Rep.*, vol. 183, 1-35, 1989.
- [9] T. Herr, V. Brasch, J. D. Jost, C. Y. Wang. "Temporal solitons in optical microresonators", *Nature Photonics*, vol. 8, 145-152, 2014.
- [10] F. V. Kusmartsev. "Application of catastrophe theory to molecules and solitons", *Phys. Rep.*, vol. 183, 1-35, 1989.
- [11] M. Rho, A. Goldhaber and G. Brown. "Topological solitón bag model for baryons", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 51, 747, 1983.
- [12] J. M. Soto y C. Mejía. "Optical solitons in dissipative media", *Óptica Pura y Aplicada*, vol. 44, 425-431, 2011.
- [13] G. Torres, J. Sánchez, M. Iturbe, G. García, M. Torres y C. Triviño. "Guías de onda generadas por solitones ópticos espaciales", *Rev. Mex. Fis.*, vol 41, 662-694, 1995.
- [14] E. Arévalo, C. Ramírez y A. Guzmán. "Solitones en fibras ópticas", *Rev. Momento*, vol. 11, 9-16, 1995.
- [15] S. López, M. Esparza, G. Lem y J.C. Gutiérrez. "Ondas solitarias no lineales: una introducción a los solitones ópticos espaciales", *Rev. Mex. De física*, vol. 60, 39-50, 2011.
- [16] J. Jackson. "Classical Electrodynamics", USA: Ed. Jhon Wiley and Sons, 3th edition, pp. 237-241, 1998.
- [17] A. Sepulveda. "Electromagnetismo", Medellín: Ed. Universidad de Antioquia, pp. 270-271, 2008.
- [18] G. Stephenson. "Introducción a las ecuaciones en derivadas parciales", España: Ed. Reverte, pp. 119-140, 1982.
- [19] S. López, Y. V. Kartashov, V. Vysloukh and L. Torner. "Method to generate complex quasi-nondiffracting optical lattices", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 105, 031902, 2010.
- [20] B. Karasozen, C. Akkoyunlu and M. Uzunca. "Model order reduction for nonlinear Schrödinger equation", *Appl. Math. and Comp.*, vol. 285, 509-519, 2015.





## Diseño e implementación de un prototipo de sistema de identificación por radiofrecuencia para la verificación de información de vehículos

Design and implementation of a prototype RFID system to verify vehicle information

Alberto Acosta López<sup>1</sup> Héctor David Lozano<sup>2</sup> B. Cristian Camilo Rico<sup>3</sup>

**Para citar este artículo:** González, C., Pascual, J., Pelayo, B. y Cueva, J. (2015). El futuro de Apple: Swift versus Objective-C. *Revista Redes de Ingeniería*. 6(2), 33-43.

Recibido: 03-abril-2015 / Aprobado: 07-septiembre-2015

### Resumen

En todas las grandes urbes a nivel mundial el control del flujo vehicular se ha convertido en un problema, dado que la misma labor de control contribuye a la congestión reinante. Esto nos llevó a buscar un sistema control vehicular que fuera ágil, etéreo y efectivo. La propuesta se basa en el diseño e implementación de un prototipo de aplicación, construido sobre el sistema operativo Android utilizando tecnología NFC. Para el logro de este prototipo fue necesario implementar una arquitectura de software tipo cliente servidor, teniendo en cuenta que el sistema contó con elementos de servicios web, una página web y un aplicativo móvil, los cuales internamente se basan en diversos aspectos tecnológicos; de igual forma, la tecnología NFC hace que se pueda obtener información de manera simple. A partir de estos factores fue posible obtener una versión funcional de este aplicativo.

**Palabras clave:** android, GPS, identification, NFC, RFID, TAG, vehicle, web service.

### Abstract

In all the greatest cities worldwide, the control of the traffic flow has become in a huge problem because the control task contributes to the prevailing congestion. This took us to look for a vehicular control system that would be agile, ethereal and effective. The proposal is based in the design and implementation of an application builded in the operative system Android using the NFC technology. For the success of this project was necessary to implement an client – server architecture, considering that the system uses web services, web pages and a mobile application, each one is based on technological aspects and NFC technology, that makes possible getting information in a simple way. From this factors was possible to obtain a functional version of the application.

**Keywords:** android, GPS, identification, NFC, RFID, TAG, vehicle, web service.

1. Magíster en Teleinformática y especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería de la universidad Distrital Francisco José de Caldas; director de los Grupos de Investigación SINTEL Y TRHISCUUD de la misma universidad docente de planta en pregrado y postgrado en el área de teleinformática en la universidad Distrital Francisco José de Caldas. Contacto: ingtelec@yahoo.es
2. Integrante del grupo de investigación SINTEL y estudiante de octavo semestre de Ingeniería de Sistemas de la universidad Distrital Francisco José de Caldas. Contacto: cristian.rico@carvajal.com
3. Integrante del grupo de investigación SINTEL y estudiante de octavo semestre de Ingeniería de Sistemas de la universidad Distrital Francisco José de Caldas. Contacto: akatsukimangekyou@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años los vehículos como medios de transporte han venido evolucionando en cuanto a tecnología, la fuente de alimentación, diseño y hasta en los materiales que los componen, asimismo con ellos surgieron problemas para la sociedad, como la contaminación, los accidentes, el exceso de vehículos en las ciudades (tráfico vehicular), la gran cantidad de trámites en algunos países para manejar un vehículo, la manipulación de los documentos de manera ilícita; todos estos problemas se resumen en la falta de control e identificación vehicular por parte de las autoridades a cargo en cada país.

Específicamente en Bogotá D.C., Colombia, una de las principales problemáticas que han afrontado diversos alcaldes ha sido la seguridad vial, que no solo se enfoca a evitar retenes falsos, ni robo de vehículos, sino que también se busca combatir de esta forma la clonación vehicular, conductores ebrios, conductores con seguros vencidos, con certificados de gases vencidos, con antecedentes penales, e inclusive con los documentos falsificados.

Dichas problemáticas de la ciudad de Bogotá no son indiferentes en otras ciudades de Colombia e inclusive en otros países del mundo. En Bogotá se han tomado medidas desde diversas alcaldías, como por ejemplo en Noviembre de 2008, cuando se llevó a cabo la implementación de la tecnología RFID ("Sistemas de identificación por radiofrecuencia"), mediante la cual se le instala una etiqueta RFID UHF ("Ultra High Frequency") en el parabrisas de cada vehículo; la cual identifica cada vehículo y permite que un agente de tránsito por medio de una pistola de lectura de RFID UHF logre obtener información de cada uno de ellos [1].

En Ibagué, por ejemplo, se realizó un proyecto similar que tenía como objeto "Contratar la realización de un censo a los vehículos de transporte público tipo taxi, consistente en suministro de

tecnología, desarrollo de software e instalación de un tag o dispositivo de identificación electrónica en cada uno de los taxis registrados ante la secretaría de tránsito, transporte y de la movilidad del municipio de Ibagué" [2], lo cual demuestra que hay una problemática que abarca varias zonas del territorio nacional.

En la actualidad un control vehicular básico es un procedimiento engorroso que afecta la circulación vehicular. Viene dado por un retén que se encarga de detener aleatoriamente (de acuerdo a la opinión subjetiva del agente de tránsito) los vehículos a inspeccionar, solicitar los documentos del vehículo y del conductor, acto lento y muchas veces complejo; luego se procede a cotejar esta información contra el vehículo y algunas veces contra unas bases de datos. Esto se torna en un resultado complejo y con tiempos de espera bastante largos.

La utilización de esta tecnología modificaría para bien el actual procedimiento. En primera instancia haríamos ingresar los vehículos en inspección a un carril de reducción de velocidad, luego aprovechamos la tecnología NFC para capturar de manera expedita la información del vehículo, mientras circula por el carril ralentizado se confronta la información y si es necesario se detiene el vehículo sobre la berma para profundizar la inspección. Este procedimiento ampliaría el horizonte de auditoria y no afectaría en mayor grado la circulación.

El presente artículo por lo tanto busca plantear un modelo prototipo basado en tecnologías móviles y web, desarrollado sobre plataforma Android como solución al problema del control e identificación vehicular, utilizando comunicaciones NFC, que a partir del consumo de servicios web obtienen la información de la base de datos de una forma segura, eficaz y eficiente.

Por otra parte, se están implementando nuevas tecnologías que utilizan su posición GPS para establecer las posibles carreras (términos de taxistas),

que pueden ejercer en ciertos puntos dependiendo de la solicitud de sus clientes, estas aplicaciones son conocidas como Easy Taxi y Tappsi, entre otros, por mencionar algunos. Permiten generar confianza frente al uso de un taxi específico que esté registrado en la aplicación. Así, estas nuevas tecnologías a futuro podrían aportar para complementar el proyecto que en este artículo se plantea.

## MARCO TEÓRICO

### S.O. Android y arquitectura

Android es una plataforma desarrollada para equipos móviles (teléfonos, tabletas) basado en Linux, además es un sistema operativo libre, gratuito y multiplataforma, el cual articula una serie de servicios de los componentes de Android (Android Open Source Project) y algunas aplicaciones móviles de Google (Google Mobile Services, Google Apps).

Lo anterior permite al desarrollador crear aplicaciones escritas en lenguajes como Java, escrito en C, y compilarla a código nativo de ARM, API de Android. El sistema operativo es principalmente de la compañía Google, pero se patrocina por un conjunto de empresas que conforman el Open Handset Alliance (OHA) [3].

El sistema operativo básicamente convierte el dispositivo móvil en un ordenador de bolsillo, permitiendo navegar por internet igual que con un ordenador, instalar más de 80000 aplicaciones del Android Market (como Gmail, Pandora o Facebook), jugar videojuegos, escuchar música, ver vídeos, enviar mensajes de texto y realizar llamadas [4].

La arquitectura del Sistema Operativo Android se ve representada en cada uno de los componentes de la figura 1, y se caracteriza porque cada uno de estos se apoya de los servicios ofrecidos por los componentes de un nivel inferior.

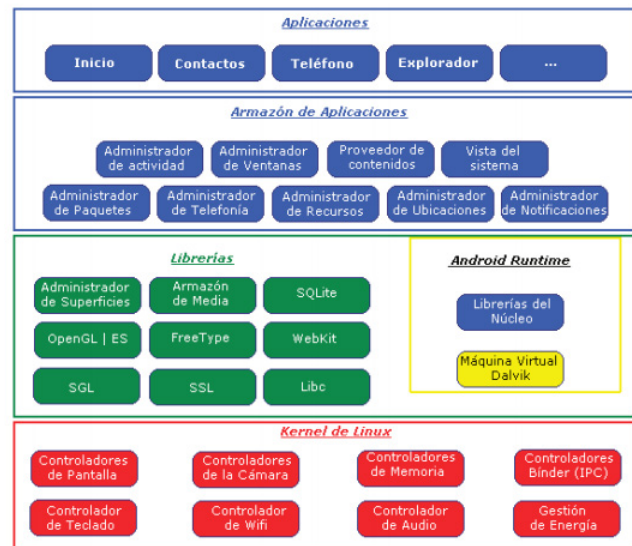


Figura 1. Pila de la arquitectura Android [5]

La capa de aplicaciones contiene todas las aplicaciones creadas con la plataforma Android, las cuales incluirán como base un cliente de email (correo electrónico), calendario, programa de mensajería, mapas, navegador, contactos y algunos otros servicios mínimos que permiten la ejecución de muchas más aplicaciones, tareas y procesos. Todas ellas escritas en el lenguaje de programación Java, C o C++.

El marco de trabajo de aplicaciones permite la reutilización de componentes en los desarrollos, teniendo en cuenta que la mayoría de los componentes en esta capa son bibliotecas Java que acceden a los recursos a través de la máquina virtual Dalvik. A su vez, la capa de librerías permite a Android incluir en su base de datos un set de librerías C o C++, que son expuestas a todos los desarrolladores a través del framework de las aplicaciones Android System C library, librerías de medios, librerías de gráficos, 3D, SQLite, etc.; estas librerías en muchos casos son usadas por varios componentes del sistema.

Finalmente, la componente del Kernel de Linux incorpora un set de librerías de entorno de ejecución que aportan la mayor parte de las funcionalidades disponibles en las librerías base del lenguaje de programación Java.

## Tecnología NFC (Near Field Communication)

Consiste en una tecnología de comunicación inalámbrica, de corto alcance y alta frecuencia que permite el intercambio de datos entre dispositivos; orientada a trabajar en los teléfonos inteligentes y dispositivos móviles de última generación, de tal forma que posibilita la transferencia instantánea de información sin sincronización previa entre dispositivos, como ocurriría con tecnologías tales como Bluetooth. NFC es una tecnología estandarizada en la ISO/IEC 18092

La comunicación que se establece entre los dos dispositivos debe realizarse desde una distancia reducida, ya que el alcance de la tecnología es limitado a un máximo de 20 cm [6]. Usualmente NFC trabaja con una frecuencia de 13.56 MHz y una tasa de transferencia de 424 Kb/seg [7].

La tecnología NFC actualmente da soporte a cuatro tipos diferentes de etiquetas que varían en su capacidad de hasta 2 Kb y velocidades de hasta 212 Kbps; estas etiquetas almacenan la información y producen una acción sobre los dispositivos con los que son leídos, cuentan con distintas capacidades y cualidades que los hacen aptos para diferentes usos. Las etiquetas NFC standard que son compatibles con todos los Smartphones NFC del mercado son los NTAG 203 y los Ultralight [8].

## PROTOTIPO DE DESARROLLO

### Descripción

#### Actividades iniciales

El proceso comienza grabando en una etiqueta NFC la información contenida, en

- La tarjeta de propiedad
- El certificado de revisión mecánico
- El Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito (SOAT)

Vale la pena aclarar que esta información también está contenida en las bases de datos de la Secretaría de Tránsito, ya que son necesarios para obtener una que esté constantemente actualizada.

Además esta etiqueta debe ser adherida a la esquina inferior derecha del panorámico delantero, para que sea fácilmente alcanzable. Un ejemplo de cómo se podría realizar la escritura en un Tag NFC:

#### Descripción método de inserción:

```
//Llamamos a un método 'write' donde pasamos por
parámetro, el 'myTag' que hemos detectado anterior-
mente, y por último el mensaje a escribir: 'message'.
write(message.getText().toString(),myTag);
Toast.makeText(context, context.getString(R.string.
ok_write), Toast.LENGTH_LONG).show();
```

#### Actividad principal

Para efectuar el control simplemente mediante un lector NFC leemos la información contenida en la etiqueta, la cual confrontamos inicialmente así:

1. Si la marca, línea, modelo entre otros corresponde al vehículo
2. Si el seguro y la revisión están vigentes

Después de la captura de los datos almacenados en la etiqueta NFC esta información es enviada automáticamente a las bases de datos de la Secretaría de Tránsito, que ofrece la siguiente información:

1. Si la etiqueta es auténtica
2. Si la información no está adulterada
3. Si el vehículo está limpio legalmente

Para esto se lee el Tag a fin de saber que la información solicitada es la correcta, por la siguiente línea de código:

```
//Aquí se lee el tag y se autentica la información que
contiene.
```

```

mytag = intent.getParcelableExtra(NfcAdapter.EXTRA_TAG);
Toast.makeText(this, this.getString(R.string.ok_detection) + mytag.toString(), Toast.LENGTH_LONG).show();

Tag myTag = (Tag)
intent.getParcelableExtra(NfcAdapter.EXTRA_TAG);
b=bytesToHexString(myTag.getId());
    
```

En donde *b* es un String que almacena el id único de nese Tag para compararlo posteriormente con el almacenado en la base de datos.

### Dinámica del sistema

Se desarrolla e implementa un modelo de una solución integrada, la cual tiene una base arquitectónica en tres capas, como lo ilustra la figura 2. Este modelo arquitectónico permite ubicar en la capa cliente la aplicación móvil junto con la etiqueta NFC adherida a cada carro, en la capa de servidor de aplicaciones el Web Service que conecta las peticiones de la capa anterior con la última capa, la cual consiste en la base de datos que contiene toda la información que se asocia a cada vehículo y a su vez controla el acceso de usuarios a la aplicación.

El prototipo consiste en un sistema conformado por un dispositivo móvil con tecnología NFC interna Samsung Galaxy S III, con sistema operativo Android. El dispositivo inicialmente reconoce un Tag NFC adherido al documento de identificación del policía de tránsito o la autoridad en el momento, del cual tomará la información básica para realizar un intento de acceso a la aplicación, dicho acceso posible mediante un usuario y contraseña. Al obtener acceso a la aplicación se permite a la persona identificada realizar la lectura de Tags NFC adheridos a los vehículos de la ciudad, de esta forma si el vehículo se encuentra registrado en el sistema por medio del servicio, se accederá a la información básica del vehículo, del propietario, certificado vehicular de gases, seguro vehicular y tarjeta de propiedad, documentos considerados como salvoconductos. El registro de la ubicación GPS busca dar control a los accesos de la aplicación (figura 3).

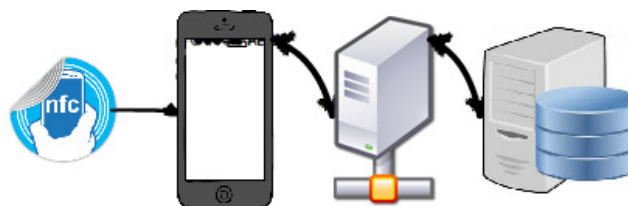


Figura 3. Dinámica del sistema

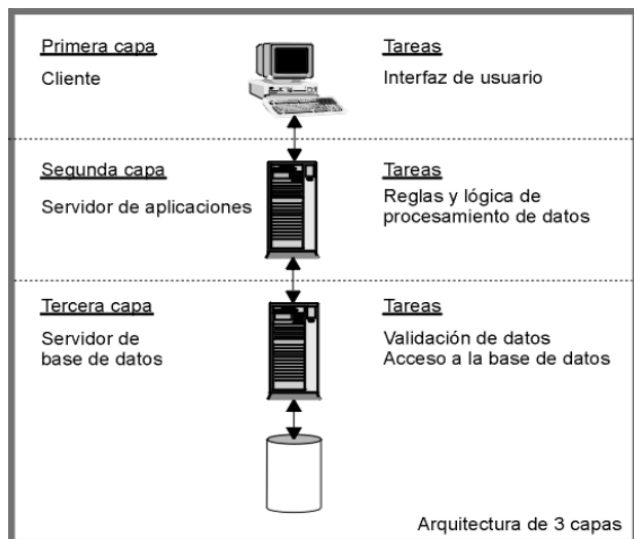


Figura 2. Arquitectura en tres capas [9]

### Estructura de la base de datos

En las figuras 4 y 5 se presentan los modelos correspondientes que dieron origen a la base de datos que soporta la aplicación, la cual permite obtener los datos de los vehículos con una previa autenticación del usuario que los necesita, de forma rápida, eficaz y eficiente en conjunto con la aplicación móvil y el web service que hace de puente de comunicación.

Es importante tener en cuenta que la aplicación móvil no debe permitir en ningún momento el ingreso de datos sobre vehículos no registrados, esto lo debe hacer otra aplicación externa, la cual debe tener un alto nivel de seguridad y debe ser administrada por una entidad del gobierno.

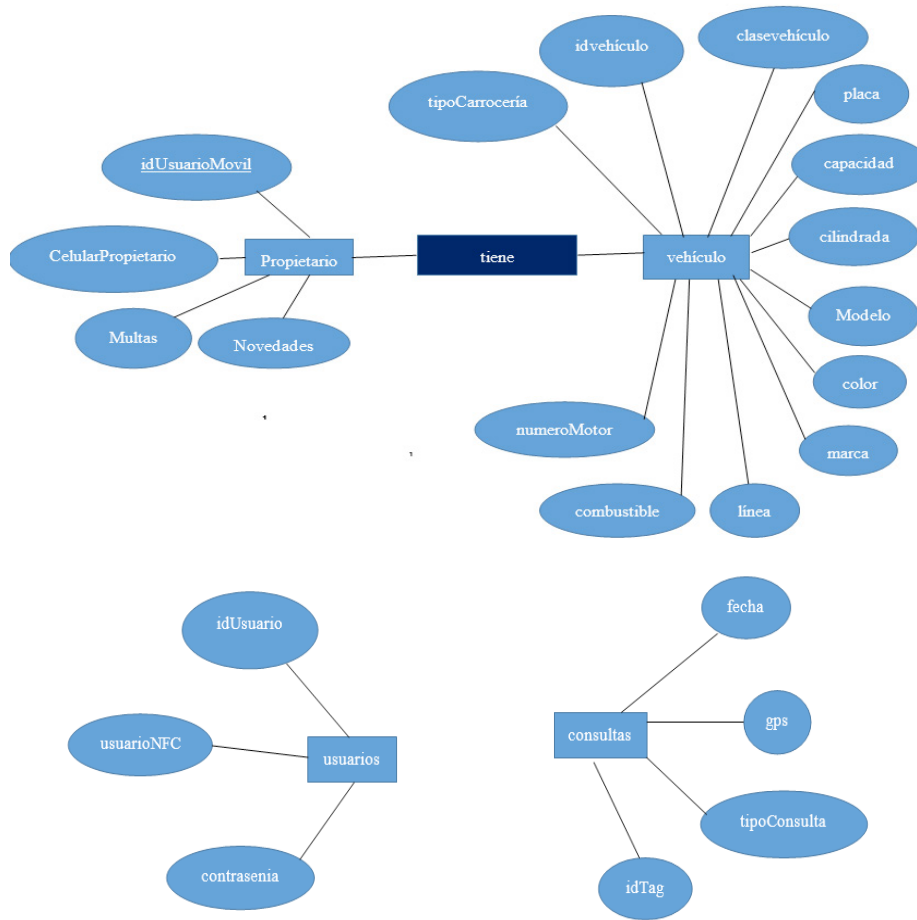


Figura 4. Diagrama entidad-relación

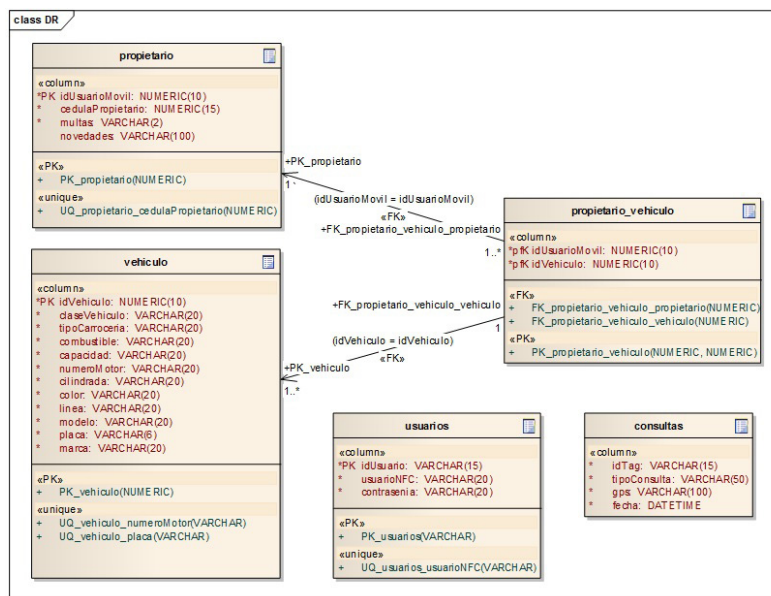


Figura 5. Diagrama relacional

En la figura 5 es posible apreciar que cada propietario está ligado a uno o más vehículos y estos se identifican por medio de un ID único; en el momento en que un Usuario (sea policía, agente de tránsito u otro) desee ingresar a la aplicación debe poseer su ID y los datos de acceso debidamente pre-loaded (precargado) por otra aplicación externa que lleva el control. Adicionalmente se lleva una especie de auditoría en la tabla “Consultas” para tener más control sobre los accesos a la información.

### Web Service como puente

El servicio web “WebServiceTransito” fue armado por medio del motor Apache Axis2 para JAVA, el cual está orientado a brindar un mecanismo para Servicios Web / SOAP / WSDL. Este servicio permite las operaciones que se aprecian en la figura 6.

#### WebServiceTransito

Service Description : Please Type your service description here

Service EPR : <http://localhost:8080/WebServiceTransito/services/WebServiceTransito>

Service Status : Active

Available Operations

- obtenerDatosUsuario
- guardarConsulta
- guardarObservacion
- obtenerDatosVehiculo

Figura 6. Descripción del servicio web

De esta forma mediante estas cuatro operaciones se aceptan peticiones a la base de datos y asimismo se les da respuesta brindando la información específica en cada caso.

### Aplicación móvil destino

La aplicación está hecha en el sistema operativo Android, el cual es uno de los más comunes entre los dispositivos móviles de hoy en día; sin embargo se halla limitado a trabajar con versiones Android 4.0 o superior teniendo en cuenta que las librerías de la tecnología NFC se acoplaron en su desarrollo a partir de esta versión.

La estructura interna de la aplicación se trabajó de tal forma que existiera cierta independencia entre los siguientes elementos:

1. Control GPS
2. Reconocimiento y acciones de etiquetas NFC
3. Interfaz gráfica de usuario
4. Comunicación con el Web Service

La interfaz gráfica de usuario se trabajó lo más sencilla posible al usuario, la cual se presenta en las figuras 7, 8 y 9 a continuación:

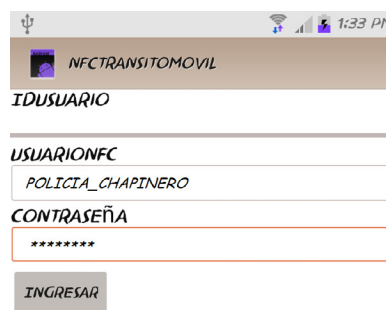


Figura 7. Ventana principal de acceso

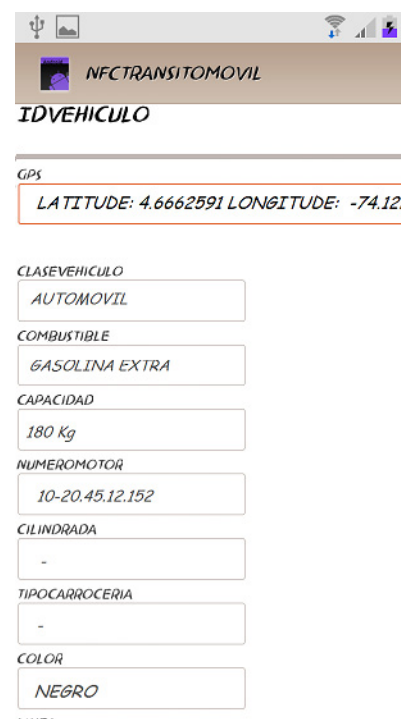


Figura 8. Ventana de identificación de TAG NFC de vehículos (Campos superiores)

NFCTRANSITOMOVIL	
NUMEROMOTOR	10-20.45.12.152
CILINDRADA	-
TIPOCARROCERIA	-
COLOR	NEGRO
LINEA	MAZDA
MODELO	2014
PLACA	ASD-258
MARCA	MAZDA
CEDULAPROPI	45.356.258
MULTAS	NO
NOVEDADES	-

**Figura 9.** Ventana de identificación de TAG NFC de vehículos (Campos inferiores)

La figura 8 contiene los campos que identifican las características externas fundamentales para cualquier tipo de vehículo. La figura 9 contiene características particulares que se ajustan al propietario del vehículo.

## ¿CÓMO SE LOGRÓ?

Teniendo en cuenta los anteriores elementos, se dio inicio al proyecto con el desarrollo de una arquitectura de software, la cual permitiera soportar las características que se recogieron durante la investigación.

A partir del diseño fue posible establecer que para un prototipo inicial el lenguaje JAVA facilitaba el desarrollo y agilizaba el proceso, resaltando que es bastante fácil acoplar el SDK de Android junto con el framework Eclipse.

Dentro de este mismo framework se buscó una herramienta que permitiera fácilmente trabajar el web service de consulta, la cual fue en definitiva Axis2 de Apache, teniendo en cuenta que el código de desarrollo también fue hecho mediante JAVA.

Por el lado de base de datos se tuvo en cuenta que a futuro en un macro proyecto será necesario trabajar con bases de datos distribuidas, sin embargo para mostrar la funcionalidad y eficiencia del prototipo basta con una base de datos de MySQL con la herramienta WampServer y el servidor Apache Tomcat para dar puente al Webservice.

Para la parte de diseño se usaron los controles nativos del sistema operativo Android, a los cuales cualquier usuario de la tecnología ya se encuentra acostumbrado.

Finalmente, los datos que debe mostrar la aplicación al momento de identificar un vehículo, son datos básicos del mismo y del propietario, permitiendo, si es el caso, hacer actualización sobre posibles inconsistencias de datos o complementando los existentes (como se muestra en las figuras 8 y 9 los campos de cilindrada y tipocarrocería); inicialmente todos los datos que se encuentren en la aplicación son datos presentados por el propietario del vehículo a la hora del registro del mismo en el sistema.

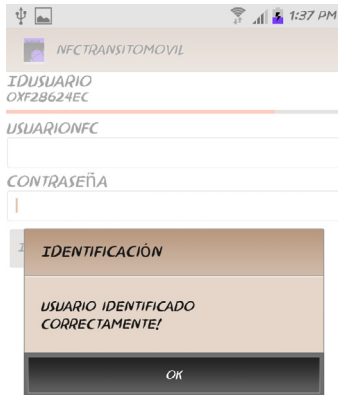
Adicionalmente, cuenta con la posición que identifica el GPS (posición tomada por medio del hardware que posee el celular) para posibles controles por parte de la policía o para establecer el punto en donde fue detenido un vehículo específico.

## EXPERIMENTOS

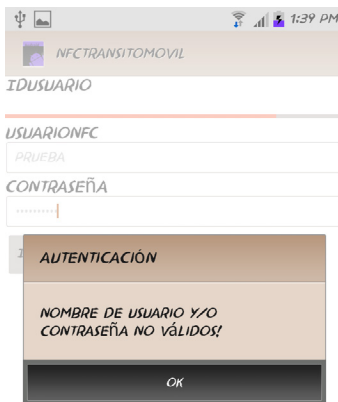
El prototipo de control e identificación vehicular trabaja de una forma ágil, eficaz y eficiente sobre dispositivos tipo Samsung Galaxy en donde se realizó el experimento, la versión de estos dispositivos es Android 4.0.



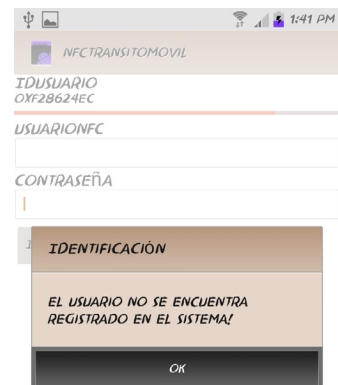
En las figuras 10, 11 y 12 es posible apreciar que se tiene un control sobre los accesos a usuarios permitidos y no permitidos a usar la aplicación.



**Figura 10.** Ventana principal de acceso (identificación correcta)



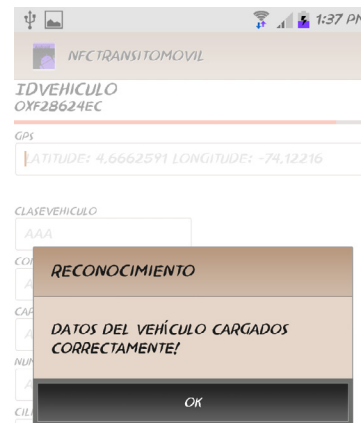
**Figura 11.** Ventana principal de acceso (identificación incorrecta)



**Figura 12.** Ventana principal de acceso (usuario no registrado en el sistema)

La sesión de usuario se mantiene abierta siempre y cuando el dispositivo móvil no se reinicie o la aplicación no sufra por falta de memoria en caso extremo, sin embargo una de las ventajas de los dispositivos Android es que permiten manejar al gusto del usuario la memoria del aparato.

En cuanto al reconocimiento de la etiqueta NFC es bastante rápido el cargue de información y también se hace un control mediante mensajes si el proceso es realizado por completo, como se ilustra en las figuras 13, 14 y 15.



**Figura 13.** Ventana de identificación de TAG NFC de vehículos (cargue correcto)



**Figura 14.** Ventana de identificación de TAG NFC de vehículos (campos superiores)

**Figura 15.** Ventana de identificación de TAG NFC de vehículos (campos inferiores)

Si la etiqueta NFC no corresponde a una permitida por el sistema, no se hace ningún cargue de datos. Por otro lado el único campo disponible para edición y su correspondiente actualización en el sistema es el campo “Novedades”, en el cual se puede guardar una breve descripción de la novedad por parte del usuario de la aplicación móvil.

De otro lado, la figura 13 presenta la validación de los datos del vehículo, que se podría solicitar y validar de acuerdo a la base de datos Secretaría de Tránsito y transporte.

En algunos libros se encuentra que las conexiones entre Android y NFC son posibles, y se pueden realizar de forma rápida y sencilla, los códigos de lectura y escritura de las etiquetas NFC fueron encontrados en los siguientes libros [10] y [11]. Se optó por usar Apache Axis 2 para hacer el servicio web, ya que trabaja sobre la base del lenguaje de programación JAVA. En general la aplicación responde bien a las peticiones, como se estimó que sería mediante esta tecnología desde un comienzo.

## CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Por medio de la tecnología NFC es posible lograr nuevos avances en el control e identificación de muchos elementos, en el caso de los vehículos, es eficiente frente a la lectura y fiabilidad de la información.

La seguridad de un sistema no solo se centra en la información de la base de datos, sino también en los mecanismos de identificación y de acceso, para el caso concreto las etiquetas NFC. Este es un prototipo que puede ser mejorado en aspectos como la seguridad, debido a la información que circula, la concurrencia y el tamaño de los datos que maneja, además no cuenta con la base de datos de la movilidad en Bogotá.

La gran cantidad de datos que se llegaría a manejar en todo el país permite pensar en bases de datos distribuidas. Es una ventaja trabajar con un modelo arquitectónico con modularidad, ya que cambios como pensar en bases de datos distribuidas no afectan en esencia el diseño original.

La modularidad del prototipo permite que funcionalidades como obtener estadísticas en tiempo real por parte de las autoridades de control vehicular a cargo, sean de fácil implementación y se puedan agregar usando el sistema, como se encuentra en estos momentos.

La tecnología NFC puede traer muchas ventajas a la sociedad del siglo XXI, teniendo en cuenta que por medio de la interacción generada entre NFC, ANDROID, GPS, Web Services y las bases de datos, dejan una brecha abierta para generar nuevos proyectos de investigación.

Finalmente, la implementación del prototipo obligaría a una serie de modificaciones de orden legal dado que documentos como la tarjeta de propiedad, el certificado de revisión técnico mecánica, y el SOAT tenderían a desaparecer y ser reemplazados por la etiqueta NFC.

## REFERENCIAS

- [1] Alberto Acosta, Dago Manzano, Carlos Martínez, "Diseño e implementación de un prototipo para el registro y verificación de activos fijos utilizando plataforma Android y tecnología NFC". *Redes de Ingeniería*, vol. 5, N°1, 26-33, noviembre, 2014.
- [2] Portal único de contratos (Colombia), 2012, [en línea]. Consultado el 6 de febrero de 2014, disponible en: <http://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=09-11-198326>
- [3] Alliance, Open Handset, "Open handset alliance". *Retrieved August*, vol. 26, 2011.
- [4] Samsung (S.f.), Samsung [en línea]. Consultado el 10 de febrero de 2014, disponible en: <http://www.samsung.com/co/article/android-2-2-os-explained/>
- [5] Capas de Android, (S.f.), [en línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/swcuc3m/home/android/generalidades/2-2-arquitectura-de-android>
- [6] Nfc forum. (s.f.). nfc forum, [en línea]. Consultado el 6 de febrero de 2014, disponible en: <http://nfc-forum.org/what-is-nfc/about-the-technology/>
- [7] J. Langer, C. Saminger, & S. Grunberger, "A comprehensive concept and system for measurement and testing Near Field Communication devices", *IEEE Regions & Conference EUROCON, 2052-2057*. 2009.
- [8] Etiquetas-nfc.es, Etiquetas-nfc.es, Líderes en tecnología en Sudamérica y España, (S.f.). [en línea]. Consultado el 6 de febrero de 2014, disponible en: <http://www.etiquetas-nfc.es/>
- [9] Ó, Martín, Arquitecturas de sistemas de bases de datos. México: Universidad de Castilla La Mancha escuela superior de informática bases de datos, 2000, [en línea]. Consultado el 3 de marzo de 2014, disponible en: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r88431.PDF>
- [10] Paul Deitel, *Android for programmers an Approach*, 2012.
- [11] Zigurd Mednieks, Laird Dornin, *Programming Android*, 2012.



## Acercamiento al perfil de uso de TIC por docentes en el sector rural colombiano

### Approach of ICT use profile by Colombian rural sector teachers

Dolly Vargas García<sup>1</sup> Omar Antonio Vega<sup>2</sup>

**Para citar este artículo:** Vargas, D. y Vega, O. (2015). Acercamiento al perfil de uso de TIC por docentes en el sector rural colombiano. *Revista Redes de Ingeniería*, 6(2), 44-53.

**Recibido: 07-agosto-2015 / Aprobado: 10-diciembre-2015**

#### Resumen

El artículo pretende hacer un acercamiento al perfil de uso de TIC por docentes de instituciones educativas ubicadas en el sector rural de cuatro departamentos colombianos (Caldas, Cauca, Huila y Nariño). Se inicia con un recorrido por la influencia de las TIC en el ámbito educativo, especialmente respecto al rol del docente en ese nuevo ambiente escolar. Luego se abordan aspectos metodológicos del estudio realizado, para a continuación mostrar algunos resultados que concuerdan con trabajos anteriores en otros sitios y niveles académicos, sobre los aspectos indispensables para conformar el perfil del docente de la era informática.

**Palabras clave:** Perfil de uso, TIC y educación, Docente, Zona rural

#### Abstract

The article attempts approaching profile, in the use of ICT by teachers of educational institutions located in rural areas of four Colombian departments (Caldas, Cauca, Huila and Nariño). It begins with a tour of the influence of ICT in education, especially regarding the role of the teacher in the new school environment. Then it comes to the methodology used in the study, to then show some results are consistent with previous work on other sites and academic levels on the essential aspects to form the profile of teachers in the information age.

**Keywords:** Use profile, ICT and education, Professor, Rural Area

1. Licenciada en Orientación y consejería educativa - Universidad Católica de Manizales – Colombia; Magister en desarrollo educativo y social - Convenio Cinde-UPN sede Manizales – Colombia; Doctora en educación con énfasis en Psicología Educativa - Universidad Estatal de Campinas (UNICAM) – Brasil.
2. Ingeniero Agrónomo – Universidad de Caldas - Colombia; Especialista en Informática y Computación – Universidad de Manizales - Colombia; Magíster en Orientación y Asesoría Educativa – Universidad Externado de Colombia y Universidad Católica de Manizales - Colombia; Magíster en Educación.Docencia – Universidad de Manizales - Colombia; Doctor en Ingeniería Informática: Sociedad de la Información y el Conocimiento. – Universidad Pontificia de Salamanca - España.

Nota: El presente documento forma parte del proyecto “Tecnologías de la Información y la Comunicación como mediación pedagógica en procesos de formación de formadores: perspectivas de reconocimiento y atención a la diversidad”, inscrito en el programa de Investigación: “Construcción de ambientes innovadores e inclusivos para el aprendizaje en escenarios virtuales (escenarios de educación a distancia) (Convocatoria Colciencias-MEN 578 - 2012), realizado por la Unión Temporal Innovación Tecnológica Universidad de Manizales - Chec y financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias).

## INTRODUCCIÓN

La incursión de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en la sociedad es una realidad de apuro, y en el sector educativo en específico, ha ido adquiriendo la tendencia de obligatoriedad, impactando el proceso educativo y exigiendo cambios en la concepción y utilización de los recursos. Por ello, las competencias tradicionales de un docente son insuficientes en la sociedad de la información y el conocimiento, lo que le exige convertirse en un facilitador de aprendizaje, guía y moderador del grupo, además de evaluador de la experiencia, dejando a un lado su tradicional función transmisora de información [1].

Además, no puede desconocerse la heterogeneidad en la incorporación de las TIC al ámbito educativo, pues ella depende de factores como la infraestructura tecnológica, la actitud y aptitud de los docentes, el apoyo e interés de los directivos, la actitud de los estudiantes y padres de familia, la ubicación geográfica, entre muchos otros, que determinan las decisiones al respecto y generan diferencias entre las instituciones educativas, marcando una visible brecha digital, la cual se favorece con el comportamiento no paralelo entre las velocidades del avance tecnológico y de la incorporación y apropiación de la tecnología.

Así, el rol del profesor se ha transformado en el nuevo escenario (caracterizado por la incorporación de las TIC unida al proceso centrado en el aprendizaje y el tratamiento interdisciplinario de la información): llegando a constituirse básicamente [2] en formar un alumno autónomo capaz de aprender a aprender (obtener y organizar información), distinguir hechos y ficciones (a partir de la valoración de fuentes, correlaciones, causalidades, afirmaciones y supuestos), identificar y desarrollar soluciones poco convencionales, formarse una opinión fundamentada y defenderla, resolver problemas de forma autónoma y tener un comportamiento responsable, o sea “más que enseñar, se

trata de hacer aprender... de concentrarse en la creación, la gestión y la regulación de situaciones de aprendizaje” [2].

Lo anterior tiene coherencia con la posición de Unesco [3] sobre que “la educación y el desarrollo de capacidades humanas no solo permiten a los individuos agregar valor a la economía, sino contribuir al patrimonio cultural, participar en la sociedad, mejorar la salud de sus familias y comunidades, preservar el medio ambiente e incrementar su propia capacidad para continuar desarrollándose y realizando aportes; generando así un círculo virtuoso de realización personal y de contribuciones”.

En esa línea, es interesante considerar que “el formador es el elemento más significativo para concretar el medio dentro de un contexto determinado de enseñanza-aprendizaje ya que el aprendizaje no se encuentra en función del medio, sino fundamentalmente sobre la base de las estrategias y técnicas didácticas que apliquemos sobre él” [4]. No obstante, un estudio realizado en 2008 en el sistema universitario catalán, muestra diferencias en el uso de internet, ya que profesores y estudiantes reconocen ser usuarios habituales para comunicarse, relacionarse socialmente y buscar información fuera de las aulas, en tanto a su interior son mucho más restrictivos y tradicionales, además de que “aplicaciones como Powerpoint, Google Docs y Youtube están muy bien valoradas, aunque los resultados de esta investigación desprenden un uso escaso en el apoyo a las tareas académicas” [5].

Al respecto, una encuesta realizada a 847 docentes de secundaria en escuelas públicas de Argentina, Chile, Costa Rica y México, muestra que las herramientas TIC tradicionales y Web 2.0 son utilizadas por una cantidad baja (Tabla 1), donde las opciones para procesar textos y realizar presentaciones, junto a Internet como recurso de investigación, se convierten en las de mayor uso (Tabla 2) [6].

**Tabla 1.** Niveles de uso de herramientas TIC por parte de docentes [6]

	Herramientas tradicionales				Herramientas Web 2.0			
	Argentina	Chile	Costa Rica	México	Argentina	Chile	Costa Rica	México
<b>No usan</b>	28%	11%	11%	14%	42%	25%	25%	34%
<b>Uso bajo</b>	51%	52%	52%	54%	56%	71%	71%	57%
<b>Uso medio</b>	21%	33%	33%	29%	2%	4%	4%	9%
<b>Uso alto</b>	0%	4%	4%	3%	0%	0%	0%	0%

**Tabla 2.** Utilización de herramientas TIC tradicionales [6]

	Argentina	Chile	Costa Rica	México
<b>Procesador de textos</b>	66%	72%	48%	76%
<b>Hojas de cálculo</b>	32%	56%	31%	46%
<b>Software de presentación</b>	52%	83%	40%	72%
<b>Materiales de referencia en línea</b>	52%	47%	34%	74%
<b>Software educativo</b>	36%	56%	20%	43%
<b>Software de programación</b>	6%	11%	9%	10%
<b>Software gráfico o de imágenes</b>	14%	20%	15%	30%
<b>Software de creación de películas o videos</b>	15%	18%	16%	26%
<b>Software para elaborar mapas conceptuales</b>	21%	16%	12%	25%

De acuerdo con esas realidades, la importancia de las competencias en el uso de TIC como elemento fundamental del nuevo perfil docente, exigiendo a “la Universidad, como institución encargada de la formación de los futuros profesionales no debe quedarse al margen de la incorporación de estas tecnologías debiendo, incluso, ser precursora de esta introducción mediante la puesta en marcha de mecanismos que la promuevan y la garanticen. (...) En este sentido es importante destacar el trabajo de Mishra y Koehler (2006), en el que se ofrece un interesante modelo teórico para conocer el conocimiento que es necesario que tengan los profesores de cara a una integración efectiva de la tecnología en sus clases. Este modelo denominado *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) y que en su traducción al español sería *Conocimiento pedagógico del contenido* tecnológico, se basa en tres componentes centrales y en sus interacciones: conocimientos, tecnología y pedagogía” [7].

Bajo tales circunstancias, es obvia la necesidad de nuevos planteamientos en el proceso de la formación docente, hacia una educación centrada en [3]:

- Adquisición de las nociones básicas sobre TIC, orientada hacia la preparación de personas con la capacidad de comprender a estas tecnologías como herramientas para el mejoramiento de la productividad y el desarrollo social.
- Profundización del conocimiento, dirigida a incrementar la capacidad para agregar valor a la sociedad y la economía, mediante la consideración de situaciones reales y cotidianas como base para el desarrollo de las asignaturas escolares.
- Generación de conocimiento, en procura de una participación activa en la sociedad del conocimiento desde diferentes ámbitos, lo cual exige cambios en el currículo dirigidos a la formación de personas para tal sociedad, con

capacidades de autoaprendizaje, pensamiento crítico, trabajo colaborativo, comunicación, creatividad e innovación y participación ciudadana.

En otras palabras, el docente debe utilizar, e inclusive crear, las herramientas tecnológicas con base en diseños pedagógicos específicos, a partir de un proceso sistemático de identificación y selección de ellas, además de comprender las implicaciones de su uso, al considerar los diferentes tipos de conocimiento [7]:

- Conocimiento del contenido (*Content knowledge*): es decir la materia, disciplina o temática específica que debe ser dominio del docente que la imparte.
- Contenido pedagógico (*Pedagogical content*): que comprende los procesos, métodos de enseñanza-aprendizaje, propósitos educativos, valores y objetivos.
- Conocimiento tecnológico (*Technology knowledge*): consta de habilidades y destrezas para el uso de herramientas tecnológicas, así como para valorarlas y detectar sus ventajas y falencias.
- Conocimiento tecnológico pedagógico (*Technological pedagogical knowledge*): consiste

en la comprensión de las tecnologías desde la perspectiva educativa, de manera que puedan utilizarse, adecuarse o crearse para su adecuada integración al proceso académico.

- Conocimiento tecnológico del contenido (*Technological content knowledge*): relacionado con el contenido disciplinar y sus modificaciones a partir de la incorporación tecnológica en su desarrollo educativo.
- Conocimiento Pedagógico del Contenido (*Pedagogical content knowledge*): consiste en la capacidad para definir la forma apropiada (enfoques y técnicas) de orientar la asignatura y sus temas.
- Conocimiento tecnológico pedagógico del contenido (*Technological pedagogical content knowledge*): integra aspectos pedagógicos, tecnológicos, de contenido, intereses y necesidades para lograr y evaluar el aprendizaje esperado.

Así, la incorporación tecnológica al proceso educativo se da en función del estilo (orientado a la enseñanza o al aprendizaje), lo que conlleva a comportamientos y funciones diferentes de estudiantes y docentes, como se muestra en la Tabla 3, llegando a proponer y caracterizar perfiles de uso de TIC (Tabla 4).

**Tabla 3.** Utilización de herramientas TIC tradicionales [8]

Estilo docente	Rol del profesor	Rol del alumno	Utilización TIC	Objetivos uso de las TIC
<b>Tradicional</b> (orientado a la enseñanza)	Transmisor del conocimiento	Receptor del conocimiento	Herramienta de aprendizaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de contenidos</li> <li>• Prácticas de conocimientos/habilidades</li> </ul>
<b>Constructivista</b> (orientado al aprendizaje)	Facilitador del aprendizaje	Protagonista de su proceso de aprendizaje	Herramienta de información	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección/recuperación de información</li> <li>• Genera y provoca debates y opiniones</li> <li>• Desarrollo de ideas y razonamientos</li> <li>• Facilita relato de experiencias</li> <li>• Presentación de ideas</li> <li>• Realización de actividades sin solución única</li> </ul>

**Tabla 4.** Diferencias entre grupos [8]

	<b>Grupo 1 Resignados</b>	<b>Grupo 2 Tradicionales</b>	<b>Grupo 3 Motivados</b>
<b>Características personales y profesionales más valoradas en el PUI</b>	Amable, que actualice contenidos	Puntual, que fomente participación en clase, los que menos señalan que <i>domine las TIC</i>	Nadie marca <i>puntual</i> y son los que menos marcan que actualice contenidos
<b>Definición del PUI</b>	No les importa que no sea exigente ni ameno ni cercano ni participativo		Que sea exigente, ameno, cercano, que fomente participación
<b>Frecuencia deseada del uso de TIC por el PUI</b>	Intermedia (regularmente)	La más baja (nunca o alguna vez)	La más alta (casi todos los días o todos los días)
<b>Herramientas deseadas para las clases</b>	Los que menos quieren página web del profesor o el uso de programas o software específicos de la materia	Los que menos quieren un espacio virtual en la web de la Universidad/centro ni blog ni foros ni perfil red social ni plataforma virtual o red 2.0; cañón; pizarra digital; acceso a Internet, email; telefonía IP; chat	Espacio virtual en la web de la Universidad/centro; página web del profesor; blog; foro; perfil en red social; plataforma virtual o red 2.0; cañón; pizarra digital; acceso a Internet, programas específicos de la materia; email; telefonía IP; chat
<b>Frecuencia de uso de las TIC por el alumno</b>	Intermedia (regularmente)	La más baja (nunca o alguna vez)	La más alta (casi todos los días o todos los días)
<b>Género</b>	Más hombres (51.7%)	Más hombres (54%)	Más mujeres (64.7%)
<b>Criterios para la elección de asignaturas</b>	Por la calidad del contenido, por el profesor	Porque les gusta el tema	Porque les gusta el tema

Para lograr esos cambios, en el caso colombiano, el Plan Decenal de Educación 2006-2016 [9] considera como macroobjetivos:

1. Dotación e infraestructura: de manera que con criterios de equidad y calidad, se dote y mantenga una infraestructura tecnológica y de conectividad a las instituciones educativas como apoyo a procesos académicos y de gestión.
2. Fortalecimiento de los procesos lectores y escritores: en busca de garantizar la cultura escrita como condición de desarrollo humano, manejo tecnológico y participación social y ciudadana.
3. Fortalecimiento de procesos pedagógicos a través de las TIC: para que a partir de la investigación pedagógica se logre el fortalecimiento de procesos pedagógicos con la incorporación de tecnologías.
4. Innovación pedagógica e interacción de los actores educativos: que permita la construcción e implementación de modelos educativos y

pedagógicos acordes a la realidad y exigencias del presente siglo.

5. Fortalecimiento de los proyectos educativos y mecanismos de seguimiento: que propician la incorporación de TIC en el currículo, con criterios de pertinencia, equidad y calidad.
6. Formación inicial y permanente de docentes en el uso de las TIC: orientado a un proceso educativo con base en el estudiante como sujeto activo, el aprovechamiento de las opciones ofrecidas por las TIC y la investigación educativa.

## MÉTODOS

Para identificar la influencia de la incorporación de las TIC en la práctica docente, se explora sobre los perfiles en su uso. Esta investigación de carácter mixto [10, 11], contempla un Diseño secuencial, con una fase cuantitativa, una cualitativa y otra cuantitativa, cuyos datos se combinan e integran para buscar convergencias, divergencias y



resultados complementarios. Para su desarrollo se consideran tres momentos: I (de exploración y planificación), II (de ejecución) y III (de presentación y divulgación). Para el momento II, el procedimiento comprende las siguientes fases:

- Fase 1: cuantitativa (cuanti). Donde se caracteriza el contexto de la investigación, utilizando un instrumento tipo encuesta, conformado por 28 ítems, distribuidos en tres categorías (como se resumen en la Tabla 5), que se comparte mediante la herramienta *Google Drive*, durante un periodo de dos meses, con los estudiantes y egresados de la Maestría en Educación desde la diversidad, ofrecida por la Universidad de Manizales.
- Fase 2: cualitativa (cuali). Implica la selección de los sujetos para la unidad de análisis (10 de cada regional) teniendo en cuenta que sean estudiantes o egresados de la Maestría en Educación desde la diversidad y laboren en una institución educativa de la zona rural. Además, comprende la realización de entrevistas y grupos focales, así como el procesamiento de la información mediante *Atlas TI*, a partir de las categorías iniciales: prácticas pedagógicas, estrategias de enseñanza-aprendizaje, uso de TIC e inclusión digital.
- Fase 3: cuantitativa (cuanti). Se construye una escala Likert, con las opciones siempre, regularmente, algunas veces y nunca para las categorías consideradas, con el objetivo de confrontar y/o completar la información organizada en tablas y gráficos; en tanto de la información cualitativa se seleccionan relatos

relevantes y construye un diálogo de la teoría con la información-investigador.

- Fase 4: integración. Corresponde al análisis holístico a partir de la información obtenida y la revisión de antecedentes.

## RESULTADOS

La información procede de 100 estudiantes o egresados del mencionado programa -con una amplia gama de formación de pregrado-, que fungen como docentes en 59 instituciones de la zona rural de los departamentos de Caldas, Cauca, Nariño y Huila. El escenario del estudio comprende 47 corregimientos y/o veredas, donde la dispersión de las viviendas es amplia (45%), con ausencia de servicios de electricidad y acueducto (21% y 36%, respectivamente). La discriminación de los estudiantes por semestre de la maestría es: de primer semestre un 3%, de segundo el 27%, de tercer el 22%; de cuarto 22% y el 26% son egresados, correspondiendo a 34 hombres y 66 mujeres.

En cuando a la infraestructura informática en las instituciones educativas (Tabla 6), se nota que a pesar de la existencia de salas de cómputo en el 86,44% de las instituciones consideradas (considerando una que no tiene sala como tal, pero sí 41 computadoras portátiles), solo se reporta un 20,34% con acceso a internet, lo cual incide negativamente sobre la incorporación de TIC al proceso educativo, lo cual se agrava si se considera la ausencia de telecentros (61%), de cafés internet (51%) telefonía fija (47%).

**Tabla 5.** Aspectos considerados en el instrumento de encuesta para caracterización

Categorías	Ítems		
Información de la persona	Cargo que desempeña Formación profesional	Asignatura(s) que orienta Centro regional	Semestre de la maestría Nivel educativo donde trabaja
Información de la institución donde labora	Identificación de la IE Acceso vial	Ubicación de la IE	Información salas de cómputo
Información de la zona de influencia de la institución educativa	Veredas de influencia Tenencia y tamaño de fincas	Servicios públicos Renglones productivos y económicos	Distribución de las viviendas Opciones de acceso a internet

**Tabla 6.** Infraestructura en las instituciones educativas, de acuerdo a las personas encuestadas

Cantidad de salas de cómputo	Computadoras/sala			Acceso a internet		
	Hasta 10	Entre 11 y 20	Más de 20	Cableado	Inalámbrico	Satelital
0	0,00	0,00	1,69	1,69	0,00	0,00
1	11,86	22,03	11,86	3,39	5,08	1,69
2	1,69	1,69	5,08	0,00	0,00	0,00
3	1,69	1,69	5,08	3,39	0,00	1,69
4	0,00	1,69	5,08	1,69	0,00	1,69
5	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
>5	3,39	0,00	3,39	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	20,34	27,12	32,20	10,17	5,08	5,08

La brecha digital detectada, que obviamente no depende exclusivamente de la infraestructura, permite identificar entre los docentes encuestados, tres perfiles en relación con el uso de TIC:

- Perfil 1: Quienes tienen mayor conocimiento sobre ellas y disfrutan su uso. Se trata de docentes que tienen experticia en el uso de las TIC, accediendo a ellas frecuentemente aprovechando diversas opciones e inclusive haciendo uso experto de los recursos informáticos. En su mayoría corresponden a nativos digitales, entendidos como “la primera generación formada en los nuevos avances tecnológicos, a los que se han acostumbrado por inmersión al encontrarse, desde siempre, rodeados de ordenadores, vídeos y videojuegos, música digital, telefonía móvil y otros entretenimientos y herramientas afines. En detrimento de la lectura (en la que han invertido menos de 5.000 h), han dedicado, en cambio, 10.000 h a los videojuegos y 20.000 h a la televisión, por lo cual no es exagerado considerar que la mensajería inmediata, el teléfono móvil, Internet, el correo electrónico, los juegos de ordenador... son inseparables de sus vidas” [12].

Un ejemplo lo constituye la profesora que afirma: “Me gusta si bastante, pues primero soy una gomo-sa y segundo porque es pasar como de ese plano tan simbólico y bidimensional a algo mucho más tridimensional, como lo es la misma tecnología”.

- Perfil 2: Quienes aprendieron por necesidad. Estas personas logran una adaptación instintiva, un aprendizaje que puede ser duradero o no. Es posible que siempre estén atrasadas y eso crea una tensión con la que tendrán que lidiar. Son inmigrantes (entendido como “a los que por edad no hemos vivido tan intensamente ese aluvión, pero, obligados por la necesidad de estar al día, hemos tenido que formarnos con toda celeridad en ello (...) hemos de hacer constar que, al igual que cualquier inmigrante, aprendemos –cada uno a su ritmo- a adaptarnos al entorno y al ambiente, pero conservando siempre una cierta conexión (a la que denomino “acento”) con el pasado” [12]) que han tenido que aprender a usar los medios digitales proviniendo de un mundo analógico de información.

Una muestra de ello es el profesor que asegura: “Bueno yo le soy sincero, yo soy de la generación clásica que me cuesta y me ha costado siempre la tecnología y como no era de mi agrado pero las tengo que utilizar, así como compañeros que aunque hagan el viaje de 12 horas, porque las lecturas las tienen que hacer por ahí”, así como quien señala: “Yo antes simplemente en google colocaba una palabra y me llevaba a cualquier página y de ahí tomaba la información (...) ahora es frecuente el uso de videos, foros, Prezzi, la Power point, la plataforma y el Skype. Tenemos páginas de grupos, creadas para nosotros e inclusive para compartir con compañeros que ni conocemos. Si nos vamos

a reunir nos comunicamos por Whatsapp, el Viber, el Tango entre otros...ah y Dropbox”

- Perfil 3: Quienes tienen poco conocimiento y hacen bajo uso. Son inmigrantes digitales, con cierta actitud positiva que les permitirá avanzar, gracias a la capacitación necesaria, la que a su vez les permite comprender cómo la tecnología puede mejorar sus vidas. Por ejemplo, un profesor comenta: “Soy docente de básica primaria y he incursionado poco en la tecnología y esto me ha permitido mirar las TIC como una herramienta o como una ayuda didáctica que me va a permitir, con mis propios estudiantes, organizar nuevas clases”, o como señala otro: “en algunos casos hay personas que tienen muy pobre conocimiento de las herramientas o de las habilidades más básicas para acceder a la tecnología hay profesores que no manejan para nada la tecnología, trabajan en lugares muy distantes de acá del Cauca, nunca habían tenido acceso a un computador. (...) Yo pienso que falta mucho todavía en cuanto a la inclusión en la parte digital, empezando porque hay situaciones, o sea, la tecnología siempre está más cerca a unas personas que a otras, por ejemplo, en el campo en la zona rural, falta mucho”.

Plantear un perfil, considerado como el conjunto de habilidades y capacidades para que una persona (en este caso, un docente) realice eficientemente su trabajo, implica la incorporación eficaz de la tecnología y su desarrollo debe impactar de forma positiva el sistema educativo, considerando elementos como:

- Actitud hacia la tecnología: aunque el éxito de la incorporación tecnológica en el ámbito educativo no depende exclusivamente de la actitud de los docentes, ella se constituye en factor determinante. Al respecto, el 50% de los docentes participantes en la unidad de análisis expresan sentir agrado por las tecnologías, aduciendo que “para la educación a distancia pienso que

la tecnología es importantísima, porque el acceso al conocimiento que tenemos es inmenso, tenemos todo el conocimiento ahí con la tecnología y el internet, a mí me pareció que si es de mucho aporte”.

- Colaboración y solidaridad: La interacción con otros al momento de utilizar las TIC contribuye a la familiarización con nuevas herramientas, optimización de los recursos, exploración de otras opciones y producción colectiva. La solidaridad, por su parte, está presente cuando se dedica tiempo para ver las necesidades de otros, para entenderlas y a darles respuestas diferentes para llevarlas a la práctica. Ellas llevan a la humanización del sujeto y del entorno tecnológico, además de fomentar y fortalecer procesos sociales únicos que de otro modo no se podrían conocer, como la responsabilidad social.
- Motivación y racionalidad: La motivación está dada por el conocimiento previo sobre el uso de la tecnología y las alternativas para aprender herramientas nuevas, lo que incluye innovaciones en estrategias, métodos y técnicas, en tanto que la racionalidad corresponde a la integración y apropiación de las TIC, con una visión crítica y con una orientación hacia la calidad, la flexibilidad, la accesibilidad y la pertinencia social.
- Afectividad: Para avanzar en el uso de la tecnología se hace necesario enfrentar tanto el rechazo sin razones aparentes (como tecnofobia) que favorece la resistencia al cambio, así como el abuso, que puede implicar adicciones y uso no pertinentes de las herramientas.

## DISCUSIÓN

Para lograr una adecuada y exitosa fusión entre TIC y educación se requiere, entre otros factores, “de la capacidad de los maestros para estructurar el ambiente de aprendizaje de forma no tradicional, fusionar las TIC con nuevas pedagogías y fomentar clases dinámicas en el plano social, estimulando la interacción cooperativa, el aprendizaje colaborativo y el trabajo en grupo. Esto exige adquirir un

conjunto diferente de competencias para manejar la clase” [3]. Coherente con ello, debe considerarse que a la capacitación docente se le suma el componente actitudinal, puesto que “resulta complicado cambiar las prácticas tradicionales en el aula dado que el docente se encuentra en una zona de confort que le brinda seguridad, utiliza estrategias aprendidas y rutinarias que le resultan cómodas. Salir de esta zona de confort representa más trabajo, ansiedad, inseguridad o problemas y por tanto se genera el rechazo” [12], que conlleva a la pérdida de algunas acciones formativas.

Así en el estudio pudo detectarse que el comportamiento de los docentes encuestados tiene similitud con investigaciones realizadas en diversos sitios e instituciones, donde la infraestructura tecnológica disponible es factor relevante para la incorporación exitosa de TIC en la escuela. No obstante, su influencia está unida a otros factores de índole individual (actitud, edad, área de desempeño, conocimiento digital, confianza en el uso a equipos), administrativos (opciones de capacitación, apoyos institucionales, ambiente laboral, políticas), conceptuales (estilo educativo, concepciones didácticas) y de entorno (ubicación geográfica, situaciones económicas, intereses colectivos, servicios públicos).

Por lo anterior, el ajuste del Proyecto Educativo Institucional, PEI, para incluirle armónicamente las TIC como elemento transversal, es de suma relevancia [13, 14], con el fin de que no se conviertan en acciones individuales e inconexas, sino que responda a un ejercicio debidamente estructurado y trascendente, donde, entre otros aspectos, los perfiles de uso y apropiación de las TIC, tanto de estudiantes y profesores, estén plenamente definidos. Así, desde la institución misma se pueden enfrentar sus realidades, inclusive la consecución de recursos tecnológicos y académicos mediante estrategias interinstitucionales, disminuyendo la dependencia de lo gubernamental y propiciando el compromiso comunitario y la autogestión.

## CONCLUSIONES

Corresponde a la educación considerar el uso de TIC, tanto en políticas como en prácticas de formación, e identificar perfiles de uso en una sociedad altamente competitiva. En este panorama, las nuevas tecnologías se han convertido en un producto singular al constituirse en un instrumento estratégico, además de transformar la interacción, complejizando el escenario educativo.

A pesar de la brecha digital entre docentes y estudiantes, especialmente por el aspecto edad configurada en la división nativo/migrante digitales, en el proceso educativo la función del docente es fundamental, al ser quien integra los componentes pedagógicos, didácticos, cognitivos e informáticos a partir de los objetivos y/o competencias propuestos en las asignaturas que orienta, lo que a su que hacer tradicional, le agrega la exigencia de un conocimiento de las posibilidades académicas de las herramientas informáticas.

La brecha digital existente, no solo por la situación informática de los docentes sino por las condiciones de la institución educativa y su entorno, dificulta a las comunidades rurales un acceso tecnológico de alta calidad y por consiguiente, opciones adecuadas para el uso cotidiano de las TIC por parte de docentes y estudiantes, y obviamente de los padres de familia, que lleven a la apropiación social de las tecnologías.

## REFERENCIAS

- [1] J. Cabero Almenara y M. Llorente Cejuda (2010, Dic). “Comunidades virtuales para el aprendizaje”. *Edutec. Revista electrónica de Tecnología Educativa*, No. 34, p. 1-10.
- [2] A. Rangel Baca (2015, Ene). “Competencias docentes digitales: propuesta de un perfil”. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, No. 46, p. 235-248.
- [3] Unesco (2008, ene 8). *Estándares de competencias en TIC para docentes*. Londres: Unesco, Organización

- de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Disponible en: <http://www.oei.es/tic/UNESCOEstandaresDocentes.pdf>
- [4] J. Cabero Almenara (2003, Oct). "Replanteando la tecnología educativa". *Comunicar. Revista Científica de Comunicación y Educación*, No. 21, pp. 23-30.
- [5] I. García, B. Gros y A. Escofet (2011, Oct). "Perfiles de uso de la tecnología y patrones de aprendizaje entre los estudiantes universitarios". Presentado al XII Congreso Internacional de Teoría de la Educación, CITE 2011. Disponible en: <http://www.cite2011.com/Comunicaciones/TIC/149.pdf>
- [6] D. Light, M. Manso y C. Rodríguez (2010). Encuesta internacional para docentes sobre el uso de la tecnología para la enseñanza: resultados preliminares de América Latina. Presentado al Congreso Iberoamericano de Informática Educativa, IE 2010. Disponible en: [http://www.cos-tadigital.cl/noticias/encuesta\\_tic.pdf](http://www.cos-tadigital.cl/noticias/encuesta_tic.pdf)
- [7] I. Gutiérrez Porlán (2014, Ene). "Perfil del profesor universitario español en torno a las competencias en tecnologías de la información y la comunicación". *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, No. 44. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2014.i44.04>
- [8] M. Santamaría Mariscal, S. San Martín Gutiérrez y B. López Catalán (2014, Jul). "Perfiles de alumnos según el uso deseado de las TIC por el profesor universitario". *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, No. 45. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2014.i45.03>
- [9] Ministerio de Educación Nacional (2012, May 09). *Plan Decenal de Educación 2006-2016: Lineamientos en TIC*. Bogotá (Colombia): Ministerio de Educación Nacional. Disponible en: [http://www.plandecenal.edu.co/html/1726/articles-166057\\_TICS.pdf](http://www.plandecenal.edu.co/html/1726/articles-166057_TICS.pdf)
- [10] J. Creswell. *Educational research: planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research* (2 ed.) Upper Saddle River (NJ, USA): Pearson. 2005.
- [11] R. Hernández Sampieri, C. Fernández-Collado y P. Baptista Lucio. *Metodología de la investigación* (4 ed.). México, D.F.: McGraw-Hill. Capítulo 17: Los procesos mixtos o multimodales. 2006. pp. 751-808.
- [12] M. Prensky (2010). *Nativos e inmigrantes digitales: Adaptación al castellano del texto original "Digital Natives, Digital Immigrants"*. Cuadernos SEK 2.0- Madrid (España): Institución Educativa SEK. Disponible en: [http://www.marcprensky.com/writing/Prensky-NA-TIVOS%20E%20INMIGRANTES%20DIGITALES%20\(SEK\).pdf](http://www.marcprensky.com/writing/Prensky-NA-TIVOS%20E%20INMIGRANTES%20DIGITALES%20(SEK).pdf)
- [13] S.M. Torres Sánchez (2013, Ene-Jun). "Educación en la nube. Un nuevo reto para los docentes de Educación Media Superior". *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, No. 10. Disponible en: <http://ride.org.mx/1-11/index.php/RIDSECONDARIO/article/download/295/288>
- [14] J.M. González Rodríguez, *Fortalecimiento y dinamización del Proyecto Educativo Institucional (PEI) y del Plan de Mejoramiento Institucional (PMI) mediante el uso y apropiación de las TIC en la Institución Educativa Cárdenas Centro de Palmira*. Tesis de Maestría (Magíster en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales). Palmira (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración. 2012. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/10488/1/7815003.2012.pdf>
- [15] A.M. Granda García y C.A. Puerta Gil (2014, Sep). "Diseño de la ruta de apropiación e incorporación del uso de las TIC en el PEI. I. E Cardenal Aníbal Muñoz Duque de Santa Rosa de Osos e I. E Donmatías de Donmatías (Antioquia)". Presentado al VI Congreso Iberoamericano de Pedagogía: "Hacia una transformación educativa con sentido", Vol. 1, No. 2, pp. 140-149. Disponible en: <http://ediciones.ucsh.cl/ojs/index.php?journal=congresodepedagogia&page=article&op=view&path%5B%5D=386&path%5B%5D=283>





## Revisión sobre algoritmos de optimización multi-objetivo genéticos y basados en enjambres de partículas

Review about genetic multi-objective optimization algorithms and based in particle swarm

Joaquín Javier Meza Álvarez<sup>1</sup> Juan Manuel Cueva Lovelle<sup>2</sup> Helbert Eduardo Espitia Cuchango<sup>3</sup>

**Para citar este artículo:** Meza, J., Cueva, J., y Espitia, H. (2015). Revisión sobre algoritmos de optimización multi-objetivo genéticos y basados en enjambres de partículas. *Revista Redes de Ingeniería*, 6(2), 54-76.

### Resumen

El enfoque evolutivo, así como el comportamiento social, han mostrado ser una muy buena alternativa en los problemas de optimización, donde se presentan varios objetivos a optimizar. De la misma forma, existen todavía diferentes vías para el desarrollo de este tipo de algoritmos. Con el fin de tener un buen panorama sobre las posibles mejoras que se pueden lograr en los algoritmos de optimización bio-inspirados multi-objetivo, es necesario establecer un buen referente de los diferentes enfoques y desarrollos que se han realizado hasta el momento. En este documento se revisan los algoritmos de optimización multi-objetivo más recientes, tanto genéticos como basados en enjambres de partículas. Se realiza una revisión crítica con el propósito de establecer las características más relevantes de cada enfoque, a fin de identificar las diferentes alternativas que se tienen para el desarrollo de un algoritmo de optimización multi-objetivo bio-inspirado.

**Palabras clave:** computación evolutiva, optimización multi-objetivo evolutiva.

### Abstract

The evolutionary approach as social behavior have proven to be a very good alternative in optimization problems where several targets have to be optimized. Likewise, there are still different ways to develop such algorithms. In order to have a good view on possible improvements that can be achieved in the optimization algorithms bio-inspired multi-objective it is necessary to establish a good reference of different approaches and developments that have taken place so far. In this paper the algorithms of multi-objective optimization newest based on both genetic and swarms of particles are reviewed. Critical review in order to establish the most relevant characteristics of each approach and thus identify the different alternatives have to develop an optimization algorithm multi-purpose bio-inspired design is performed.

**Keywords:** evolutionary computation, evolutionary multi-objective optimization.

1. Docente de planta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
2. Docente de planta, Universidad de Oviedo.
3. Docente de planta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## INTRODUCCIÓN

Los algoritmos de optimización multi-objetivo bio-inspirados han mostrado ser una buena herramienta para la solución de problemas con diferentes funciones objetivo [1]. De los algoritmos más representativos se tienen los que se apoyan en evolución y también en enjambres de partículas. Específicamente, los algoritmos basados en el concepto de evolución logran un buen acercamiento al frente de Pareto, sin embargo requieren de muchas generaciones; por otro lado los algoritmos que se sustentan en enjambres de partículas presentan una alta tasa de convergencia, no obstante su principal desventaja es lograr un adecuado manejo de la diversidad [1], [2].

En el presente documento se realiza una revisión acerca del desarrollo que se ha tenido de los algoritmos de optimización multi-objetivo basados en el concepto de evolución, así como los inspirados en el comportamiento de enjambre de partículas. De otro lado, en un problema de optimización multi-objetivo se dispone de un conjunto de objetivos cuantificables y un conjunto bien definido de restricciones. Debido a que el conjunto de soluciones a menudo presenta compromisos entre los múltiples objetivos, la solución final considera tanto la técnica de optimización como los procesos de decisión, de los cuales se tienen: a priori, progresiva y a posteriori [3].

En el método a priori se combinan los diferentes objetivos en una función de costo (escalar). En el método progresivo la toma de decisiones y la optimización se realizan al mismo tiempo. La información de selección (preferencia) parcial se proporciona en la medida que se realiza la optimización, proporcionando un conjunto de soluciones a considerar. Por su parte, en el método a posteriori se presenta un conjunto de soluciones candidatas óptimas de Pareto y se elige a partir de ese conjunto [3].

## Esquema y objetivo de la revisión

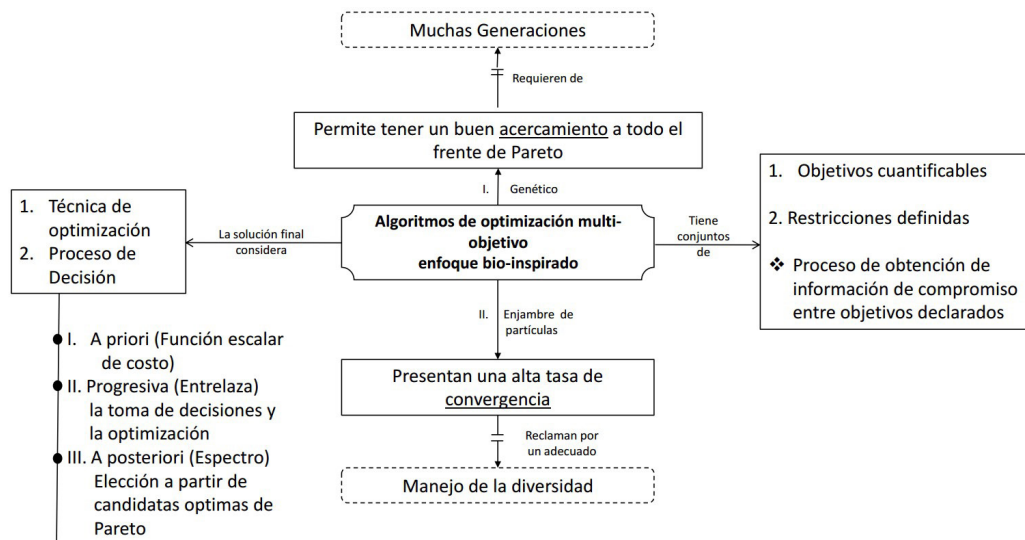
La revisión se realiza observando los diferentes enfoques orientados a resolver el problema de optimización multi-objetivo y los algoritmos desarrollados. La revisión sobre algoritmos genéticos Genetic Algorithm (AG) se realiza a fin de contextualizar los diferentes enfoques evolutivos multi-objetivo, adicionalmente se profundiza en el desarrollo realizado sobre algoritmos de optimización basados en enjambres de partículas, Particle Swarm Optimization (PSO) aplicados a problemas multi-objetivo. La mayoría de los algoritmos considerados emplean el concepto de frente de Pareto el cual consiste en un conjunto de soluciones con los mejores compromisos entre los objetivos a ser optimizados.

En la figura 1 se pueden apreciar las principales características identificadas de los algoritmos revisados, siendo características a resaltar la convergencia y la cantidad de generaciones empleadas. Por su parte, en la figura 2 se pueden apreciar los enfoques más significativos de los algoritmos genéticos y los basados en enjambres de partículas empleados en optimización multi-objetivo.

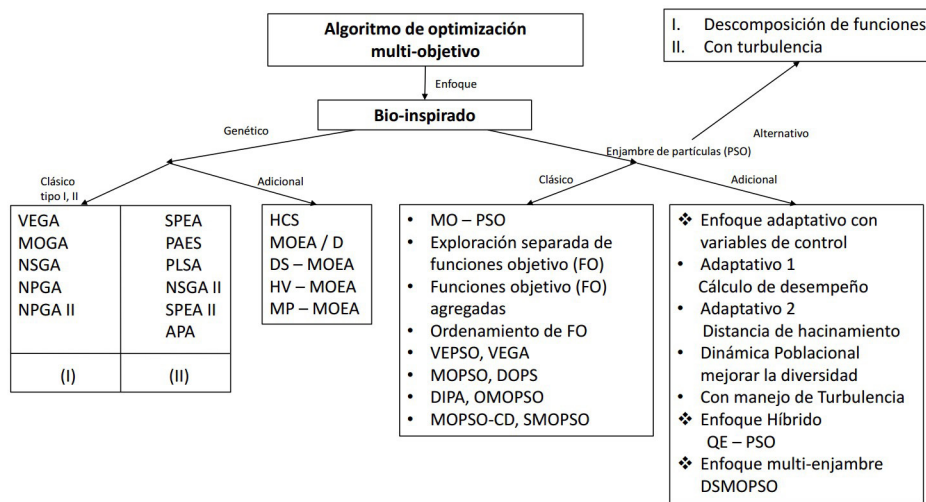
## ENFOQUES TRADICIONALES DE ALGORITMOS GENÉTICOS MULTI-OBJETIVO

Los algoritmos evolutivos multi-objetivo Multi-objective Evolutionary Algorithms (MOEAs) resultan ser una buena alternativa en ingeniería cuando se tienen varios criterios de diseño, los cuales pueden estar en conflicto cuando no se puede establecer una ponderación adecuada para tener una sola función objetivo [4], [5]. En esta sección se revisan las técnicas más populares desarrolladas en optimización multi-objetivo basadas en algoritmos genéticos.

Como una primera aproximación de los algoritmos genéticos se tiene: algoritmo genético para



**Figura 1.** Características principales de los algoritmos genéticos y basados en enjambres de partículas para optimización multi-objetivo.



**Figura 2.** Enfoques de algoritmos genéticos y basados en enjambres de partículas para optimización multi-objetivo.

el vector evaluado, Vector Evaluated Genetic Algorithm (VEGA); algoritmo genético multi-objetivo, Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA); algoritmo genético de ordenamiento no dominado, Nondominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA); algoritmo genético con nichos de Pareto, Niche-Pareto Genetic Algorithm (NPGA) y algoritmo genético con nichos de Pareto II, Niche-Pareto Genetic Algorithm II (NPGA II) [1].

Un segundo grupo de algoritmos representativos son: el algoritmo evolutivo de fuerza de Pareto, Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA [6], [7]); estrategia de evolución archivada de Pareto, Pareto Archived Evolution Strategy (PAES [8]); algoritmo envolvente de Pareto basado en selección, Pareto Envelope-based Selection Algorithm (PESA [9]); algoritmo genético de ordenamiento no dominante, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm



II (NSGA II [10]) y SPEA II [11]; algoritmo adaptativo de Pareto, Pareto Adaptive Algorithm (APA [12] [13]).

A continuación se presenta una revisión de los algoritmos evolutivos multi-objetivo, los cuales según [3] se consideran los más representativos.

### **Algoritmo genético para el vector evaluado**

En este algoritmo se divide la población original en un grupo de sub-poblaciones de tal forma que para cada función objetivo se tiene asociada una sub-población. Luego se realiza un proceso de selección para cada sub-población considerando la respectiva función objetivo asociada. En el siguiente paso las sub-poblaciones se mezclan para obtener una nueva población y de esta forma seguir con los procesos tradicionales de cruce y mutación utilizados en un algoritmo genético [4].

### **Algoritmo genético multi-objetivo**

Estrategia donde se emplean los elementos básicos de un algoritmo genético (cruce, mutación y selección) aplicados al problema multi-objetivo utilizando el concepto de dominancia de Pareto. Para la implementación del algoritmo se calcula el *ranking* de un individuo considerando el número de individuos que lo dominan. Adicionalmente, para realizar los cruces se emplea el valor del desempeño compartido [14].

En este enfoque a cada individuo de la población se le asigna un valor con el cual será ordenado para realizar el proceso de selección. El valor con el cual se ordenan los individuos (*ranking*) se asigna considerando el criterio de no dominancia. En un primer paso a todos los individuos se les asigna un valor de 1, para los individuos no dominados se mantienen el valor de 1, por su parte, los individuos dominados se penalizan sumando a valor indicial el número total de individuos que lo dominan. Posteriormente los individuos se ordenan

de menor a mayor considerando los valores calculados previamente, en este respectivo orden se asigna un valor de desempeño para cada individuo por interpolación desde el menor (mejor) hasta el mayor (peor). En el caso de tener individuos que comparten la misma posición en ranking se realiza un promedio para que tengan el mismo valor de desempeño. Finalmente al tener asignado a cada individuo su respectivo valor de desempeño se procede a realizar los procesos de cruce y mutación [14].

### **Algoritmo genético de ordenamiento no dominado**

En este algoritmo las soluciones se ordenan por su calidad, colocando los individuos no dominados en una lista asignando un valor de aptitud considerando el tamaño de la población. Con el fin de mantener la diversidad, los individuos no dominados comparten los valores de desempeño creando una lista de individuos no dominados [15].

En NSGA se utiliza un método de selección de clasificación para enfatizar soluciones no dominadas actuales y un método de nichos o segmentos especializados, el cual se utiliza para mantener la diversidad de la población.

### **Algoritmo genético con nichos de pareto**

En este algoritmo se realiza la selección por torneo basada en la dominancia, de forma aleatoria dos individuos se comparan con un subconjunto de la población, en este caso se escogen al azar dentro de la población dos individuos que compiten y un conjunto de comparación formado por otros individuos. Generalmente para la selección por torneo si un candidato está dominado por el grupo de comparación, mientras que el otro no lo es, este último se selecciona para la reproducción. En este algoritmo también se utiliza una técnica para compartir el fenotipo en el espacio de soluciones [16].

La principal mejora de NPGA II sobre NPGA consiste en utilizar el grado de dominación (el número de soluciones en la población actual que lo domina) como la puntuación determinante en la selección del torneo. En este caso el método del torneo es determinista, en contraste con el método probabilístico utilizado por NPGA [17].

### **Algoritmo evolutivo de fuerza de Pareto**

Con este enfoque se mantiene una población externa para cada generación almacenando todas las soluciones no dominantes obtenidas hasta el momento. Cada población externa es mezclada con la población actual donde su desempeño se asigna considerando el número de soluciones que una solución domina. Para asegurar la diversidad entre soluciones no dominantes se usa la técnica de agrupación determinista [6], [18].

### **Estrategia de evolución archivada de Pareto**

En este algoritmo un padre es generado por una mutación de un hijo. Si el hijo domina al padre, el hijo es aceptado como el siguiente padre y la iteración continúa. Si el padre domina al hijo, el hijo (descendencia) es descartado y se genera la nueva solución mutada. Si la descendencia y el padre no son dominantes el uno al otro se emplea un conjunto de comparación de individuos usados previamente. Para mantener la población diversa alrededor del frente de Pareto, se considera un archivo de soluciones no dominantes. Una nueva descendencia es comparada con un archivo para verificar si estos dominan cualquier miembro del archivo, si es así, entonces la descendencia completa es aceptada como un nuevo padre. Las soluciones dominantes son eliminadas desde el archivo.

### **Algoritmo genético de ordenamiento no dominante II**

En el caso del algoritmo NSGA II, primero se establece el número de soluciones que una determinada

solución domina así como el conjunto formado por las soluciones dominadas. Con la anterior información se obtiene el primer frente formado por las soluciones no dominantes. Del frente actual se realiza una reducción de las soluciones dominadas. Las soluciones no dominantes que son permanentes después de esta reducción se organizan en una lista separada. Estos procesos continúan usando el nuevo frente identificado como el frente actual. Una nueva población es formada considerando los frentes individuales desde los frentes hasta exceder el tamaño de la población. Las soluciones de los últimos frentes permitidos son clasificados de acuerdo a la relación de la cantidad de la población.

NSGA II usa un parámetro (denominado distancia de multitud) para estimar la densidad de cada individuo. La distancia de multitud de una solución es el promedio de la longitud del lado del cubo que encierra el punto sin incluir cualquier otro punto de la población. Las soluciones del último frente aceptado son clasificadas de acuerdo a la distancia respecto a la multitud.

### **Algoritmo evolutivo de fuerza de Pareto II**

El algoritmo SPEA 2 usa dos poblaciones, una actual y otra externa. Después de una evaluación todas las soluciones no dominantes de la población actual y de la población externa son pasadas a la siguiente población. Si el número de estas soluciones es menor que el tamaño de la población entonces la siguiente población es completada con individuos dominantes desde la actual y la población externa. La diferencia con SPEA consiste en la asignación del valor de desempeño y en el empleo de un operado de truncado. La función de ajuste es calculada de manera diferente para las soluciones desde la población externa y la actual. SPEA II incorpora información de la densidad de soluciones para discriminar entre los individuos que tienen un valor de ajuste idéntico. En este algoritmo el tamaño de archivo es fijo, adicionalmente cuando el número de individuos no dominados es menor que el

tamaño del archivo predefinido, el archivo se llena por individuos dominados [6], [18].

### Algoritmo adaptativo de Pareto

En este algoritmo cada solución se puede codificar en más de un alfabeto diferente [12], [13]. Adicionalmente la representación de una solución particular no es fija, es decir la representación es adaptable y se puede cambiar durante el proceso de búsqueda como efecto del operador de mutación.

Cada solución es representada con un número entero correspondiente al número de elementos del alfabeto y una cadena de símbolos del alfabeto. Si se tienen dos símbolos corresponde a la codificación binaria estándar. El alfabeto sobre el que se codifica cada individuo puede cambiar durante el proceso de búsqueda. Cada individuo se selecciona para la mutación, que es el operador de variación única. Los hijos y los padres son comparados. Si los hijos dominan al padre entonces la descendencia entera de la nueva población y del padre es removida. Si los padres dominan la descendencia después de varias mutaciones entonces se elige otro alfabeto. En este algoritmo se utiliza una única población de individuos.

### ENFOQUES ADICIONALES DE ALGORITMOS GENÉTICOS MULTI-OBJETIVO

Adicional a las técnicas revisadas anteriormente, las cuales se pueden considerar como estándar, se han realizado a lo largo del tiempo diferentes propuestas y enfoques para la solución del problema de optimización multi-objetivo mediante algoritmos evolutivos. A continuación se realiza una breve descripción de estos enfoques.

### Métodos híbridos

Sobre métodos híbridos en [19] se propone una técnica para reducir la sobrecarga cognitiva asociada

con la importancia relativa de un determinado criterio dentro de un entorno de diseño multi-objetivo, que implica un gran número de objetivos. En este trabajo se realiza la integración con varias técnicas de búsqueda de diseño basado en algoritmos genéticos y optimización (suma ponderada, Pareto ponderado, métodos coevolutivos ponderados y escenarios ponderados).

En [20] se propone una nueva estrategia de búsqueda local para algoritmos meméticos multi-objetivo. Se describe un procedimiento de búsqueda iterativa, denominado escalado de la colina con pasos laterales, Hill Climber with Sidestep (HCS). La característica de HCS consiste en la capacidad de moverse hacia y a lo largo del conjunto de Pareto dependiendo de la distancia de la iteración actual hacia este conjunto. El procedimiento de búsqueda local utiliza la geometría de los conos de dirección de este tipo de problemas de optimización y funciona con o sin información del gradiente.

Otro trabajo se puede apreciar en [21], donde se propone un algoritmo evolutivo multi-objetivo híbrido basado en un doble espacio para realizar la optimización multi-objetivo, Double Space Based Multiobjective Evolutionary Algorithms (DS-MOEA). En comparación con MOEAs tradicionales, DS-MOEA no solo considera el proceso evolutivo en el espacio de la solución, también tiene en cuenta el proceso de aprendizaje de los conocimientos en el espacio objetivo.

Según [22], para los problemas de optimización multi-objetivo no se tiene mayor desarrollo sobre métodos que emplean el gradiente y su uso algorítmico. En [22] se expone cómo utilizar los gradientes para optimización numérica de valor real. Específicamente, se proporciona una descripción paramétrica analítica del conjunto de direcciones de todas las soluciones no dominadas, donde una solución puede ser desplazada de tal forma que los valores objetivos mejoren o sigan siendo los mismos. Además se utiliza el resultado para evaluar la

utilidad de usar la información del gradiente para la optimización multi-objetivo, donde el objetivo es obtener un conjunto de soluciones de Pareto que se aproxima al conjunto óptimo de Pareto.

## Exploración de regiones

Según [23], los algoritmos multi-objetivo evolutivos (MOEA) basados en hipervolumen parecen ser la primera opción cuando se requiere manejar varios objetivos (más de tres objetivos). También se comenta que estudios experimentales han demostrado que los algoritmos de búsqueda basados en hipervolumen pueden superar algoritmos como NSGA II y SPEA II. Un problema con la mayoría de los algoritmos basados en hipervolumen consiste en el orden de complejidad que este tiene; el algoritmo más conocido para calcular la hipervolumen necesita tiempo exponencial. En [23] se propone un enfoque general para la reducción de objetivos con el fin de mejorar los algoritmos basados en hipervolumen. El estudio indica que la omisión (temporal) de los objetivos puede mejorar los MOEAs basados en hipervolumen drásticamente en términos de los valores de los indicadores hipervolumen obtenidos.

Por otra parte, en [24] se desarrolla un algoritmo evolutivo elitista para toma de decisiones multi-objetivo. Los algoritmos definen un territorio alrededor de cada individuo para prevenir el hacinamiento en cualquier región. Esto mantiene la diversidad al tiempo que facilita la rápida ejecución del algoritmo. También se ha desarrollado un mecanismo para incorporar información de preferencia con el fin de centrarse en las regiones que son de interés para la toma de decisiones.

## Descomposición de objetivos

Según [25], la descomposición es una estrategia básica en la optimización multi-objetivo tradicional. Sin embargo, todavía no ha sido ampliamente utilizado en la optimización evolutiva

multi-objetivo. En [25] se propone un algoritmo evolutivo multi-objetivo basado en descomposición, Multiobjective Evolutionary Algorithm based on Decomposition (MOEA/D). Se descompone un problema de optimización multi-objetivo en una serie de subproblemas de optimización escalares y se optimizan simultáneamente. Cada subproblema se optimiza utilizando la información de sus varios subproblemas vecinos, por lo cual MOEA/D tiene menor complejidad computacional en cada generación que algoritmos genéticos de ordenamiento no dominado.

Adicionalmente, en [26] se presenta un algoritmo evolutivo multi-objetivo cuando cada objetivo tiene una importancia diferente. Para resolver este tipo de problemas se propone un método de poda a fin de considerar la desviación de obtener un conjunto de soluciones no dominadas con objetivos optimizados específicamente. Se observa que enfatizar en un objetivo mejora el rendimiento de optimización en problemas con muchos objetivos.

Según [27] al dividir la optimización multi-objetivo del espacio de decisión en varias regiones pequeñas se puede tener un mejor desempeño. De esta forma en [27] se propone el algoritmo de optimización multi-objetivo basado en la búsqueda sub-regional. Dado que el algoritmo propuesto utiliza la búsqueda sub-regional, la complejidad computacional en cada generación es menor que NSGA II. El algoritmo propuesto hace uso de la estrategia de max-min como funciones de desempeño para lograr una solución distribuida uniformemente sobre el frente de Pareto.

En [28] se expone que cuando en un algoritmo evolutivo se necesitan varias evaluaciones de la función objetivo con el fin de llegar a una solución sub-óptima y cada una de estas evaluaciones es computacionalmente costosa, entonces, dichos problemas pueden ser intratables. Reemplazar el problema original con un modelo sustituto ha sido una estrategia habitual para la reducción de

tiempo. En [28] se estudian técnicas de meta-modelado como funciones de Base Radial, máquinas de soporte vectorial, regresión polinómica en diferentes aspectos, tales como la precisión, robustez, eficiencia y escalabilidad, con el objetivo de identificar las ventajas y desventajas de cada meta-modelado con el fin de elegir el más adecuado para ser empleado con algoritmos evolutivos multi-objetivo.

Por su parte, en [29] se propone otro algoritmo evolutivo multi-objetivo basado en descomposición, el cual se centra en cómo mantener un conjunto de sub-problemas para aproximarse a la solución óptima. El algoritmo emplea un generador basado en modelos multivariados de Gauss. Tanto la información local y global de la población se extrae por un conjunto de modelos de distribución de Gauss.

En [30] se descompone el problema de optimización multi-objetivo restringido en varios subproblemas y luego se optimiza cada subproblema de forma colaborativa. Cada subproblema tiene su propia subpoblación y un registro temporal. La subpoblación se compone de aquellos individuos que tienen los mejores valores de los objetivos y menores violaciones de restricción del subproblema, mientras que el registro temporal se compone de aquellos individuos que se encuentran antes. Se realiza el operador de cruce entre cada individuo en las subpoblaciones y un individuo que se elige al azar del registro temporal correspondiente. La estrategia de registro temporal hace que los individuos que tienen mejores valores de los objetivos y menores violaciones de las restricciones, tengan la oportunidad de participar en el cruce y mutación.

Según [31] aunque el enfoque de descomposición generalmente converge más rápido a través de la optimización de todos los sub-problemas a la vez, hay dos aspectos que no se abordan completamente. El primero consiste en que la distribución de soluciones depende a menudo de una descomposición a priori del problema y el segundo es la falta de diversidad de la población entre

los sub-problemas. En [31] se desarrolla un MOEA con archivos de doble nivel un archivo global y un sub-archivo. En cada generación existe un proceso de autorreproducción con el archivo global y reproducción transversal entre los sub-archivos y el archivo global para crear nuevos individuos. El archivo global y sub-archivos se comunican a través de la reproducción cruzada y se actualizan usando los individuos reproducidos. Con este enfoque se conserva la convergencia rápida y al mismo tiempo se logra la distribución de la solución a lo largo de frente de Pareto.

### Múltiples poblaciones

Sobre el desarrollo de algoritmos que emplean varias poblaciones en [32] se desarrolla un algoritmo basado en el concepto de la coevolución de una familia de preferencias, junto con una población de soluciones candidatas.

Por su parte en [33] se propone un algoritmo evolutivo multi-objetivo basado en la evolución paralela de múltiples poblaciones y una población del archivo de Pareto. Para cada población se emplea un algoritmo evolutivo a fin de optimizar por separado cada una de las funciones, donde los individuos son generados por la selección (torneo) de la unión de una población asociada a un objetivo y la población del archivo de Pareto. En cada iteración una población de tamaño finito del archivo de Pareto se actualiza de forma iterativa y se recorta por una operación de comparación.

### Propuestas para lograr mejoras de los algoritmos

En [34] se expone que una forma de mejorar la velocidad de los algoritmos evolutivos multi-objetivo consiste en utilizar un archivo activo de soluciones élite no dominadas. Sin embargo, la preservación de todos los individuos de élite es costosa en tiempo (debido a la comparación lineal con todas las soluciones archivadas). El mantenimiento de una

población de élite de un tamaño máximo fijo (por la agrupación u otros medios) alivia este problema, pero puede causar un alejamiento y la disminución de los frentes de Pareto estimados, lo cual puede afectar la eficiencia del proceso de búsqueda. En [34] se consideran algunas estructuras de datos para facilitar el uso de un archivo de élite sin restricciones, sin la necesidad de una comparación lineal para el conjunto de élite en cada nuevo individuo insertado.

Un trabajo adicional se puede apreciar en [35] donde se proponen dos algoritmos evolutivos utilizando un nuevo gen inteligente Intelligent Gene Collector (IGC) para resolver grandes problemas individuales y de optimización multi-objetivo. IGC es la fase principal de un operador de recombinación inteligente, IGC utiliza el enfoque de dividir y conquistar, que consiste en dividir adaptativamente dos individuos de los padres en pares de segmentos de genes.

En [36] se propone un método de cálculo de dominio local, para mejorar los algoritmos evolutivos multi-objetivo realizando una búsqueda distribuida basada en el dominio local. En este método, primero se transforman todos los vectores de la aptitud de los individuos a coordenadas polares vectores en el espacio de la función objetivo. Luego se divide la población en varias subpoblaciones utilizando ángulos de declinación. Finalmente se calcula el dominio local para los individuos que pertenecen a cada sub-población, con base en la dirección de búsqueda local y posteriormente se aplica la selección, la recombinación y mutación individual dentro de cada subpoblación.

Por su parte en [37] se estudian los efectos en el rendimiento de la dominación local y recombinación local aplicado a problemas multi-objetivo combinatorios. Se introduce un método que crea una vecindad alrededor de cada individuo y asigna el orden de dominancia local después de girar la dirección principal de búsqueda de la vecindad,

mediante el uso de coordenadas polares en el espacio objetivo. Para la recombinación se crea una vecindad diferente empleando búsqueda aleatoria.

En [38] se presenta un algoritmo evolutivo para la optimización con restricciones. El algoritmo se basa en técnicas de optimización multi-objetivo, es decir, un individuo de la población de los padres puede ser reemplazado si está dominado por un individuo no dominado elegido de la población descendiente. Además, se utiliza un archivo de soluciones factibles y mecanismo de sustitución. El operador de cruce se utiliza para enriquecer las habilidades de exploración y explotación.

Particularmente en [39] se realiza una propuesta para inducir una mejor distribución de soluciones no dominadas y distribuir más equitativamente la selección entre ellas. Con el método propuesto individuos similares se eliminan en el proceso de evolución mediante el uso de la distancia entre los individuos en el espacio objetivo.

En [40] se propone que en el proceso de evolución un individuo de la población de los padres puede ser reemplazado si está dominado por un individuo no dominado en la población descendiente. Además, se introducen tres modelos de un algoritmo basado en la población y un mecanismo de solución de archivado y la sustitución no factible.

Según [41] las soluciones óptimas de un problema de optimización multi-objetivo corresponden a un frente no dominado que se caracteriza por una solución de compromiso entre los objetivos. Una región de "rodilla" en este frente óptimo de Pareto, visualmente es una protuberancia convexa en la parte delantera, la cual es importante para la toma de decisiones en contextos prácticos, ya que a menudo constituye el óptimo en equilibrio. En [41] se presenta un esquema de selección que permite a un algoritmo evolutivo multi-objetivo obtener un conjunto no dominado con concentración controlable alrededor de regiones de rodilla

existentes del frente de Pareto. Este enfoque basado en preferencia se logra mediante la optimización de un conjunto de sumas ponderadas de los objetivos originales.

En [42] se presenta otro algoritmo basado en el frente óptimo de Pareto, que busca aliviar la desventaja de los MOEA en el rendimiento del tiempo. En este algoritmo se emplea un enfoque de cruce limitado para mantener la diversidad de soluciones.

Según [43] varios algoritmos de optimización multi-objetivo evolutivos han adoptado los operadores de selección basados en indicadores que aumenten o reemplacen el *ranking* de los indicadores de calidad. Un indicador de calidad mide la bondad de cada candidato solución. Muchos indicadores de calidad se han propuesto con la intención de capturar diferentes preferencias en la optimización. Por lo tanto, los operadores de selección basados en indicadores tienden a tener presiones de selección sesgada que evolucionan individuos hacia determinadas regiones en el espacio objetivo. En [43] se estudia un método para agregar (o aumentar) los operadores de selección basados en indicadores existentes.

Según [44] buena parte de los algoritmos evolutivos multi-objetivo existentes presentan dificultades cuando el frente de Pareto óptimo se encuentra compuesto por múltiples segmentos desconectados. También los MOEAs, comúnmente involucran más de tres parámetros de control, adicionalmente su desempeño en función los ajustes de los parámetros son generalmente desconocidos [44]. Considerando lo anterior en [44] se propone un MOEA, con dos operadores genéticos, cruce de aritmética extendida y mutación diversificada, con los cuales se busca mejorar la capacidad de exploración del algoritmo.

Finalmente en [45] se propone un método de selección adaptativa, *Adaptative Operator Selection* (AOS), el cual se utiliza para determinar las tasas de aplicación de los diferentes operadores considerando

sus acciones recientes dentro de un proceso de optimización. Con el fin de realizar un seguimiento de la dinámica del proceso de búsqueda se utiliza una ventana deslizante para registrar las tasas de mejora de la aptitud obtenida por los operadores.

## ENFOQUES TRADICIONALES DE ALGORITMOS PSO MULTI-OBJETIVO

A continuación se presentan diferentes enfoques para extender el algoritmo PSO a problemas multi-objetivo [46]. En esta sección se revisan las propuestas más conocidas de las cuales resaltan: algoritmos con exploración separada de funciones, enfoques de vector evaluado no basados en Pareto y algoritmos basados en dominancia de Pareto.

### Algoritmos con exploración separada de funciones objetivo

En esta categoría se encuentran los enfoques que combinan todas las funciones objetivo en una sola o consideran cada función objetivo por turnos para la evaluación del enjambre. La ventaja de estos enfoques es su sencilla actualización del enjambre y las mejores posiciones. En este algoritmo se emplea un registro externo para el almacenamiento de soluciones no dominadas. Su inconveniente es la falta de una información a priori con respecto a una mejor manipulación de las distintas funciones objetivo [46].

### Enfoque de función objetivo agregada

En estos enfoques se agregan mediante una combinación ponderada todas las funciones objetivo en una sola. Si los pesos permanecen fijos durante la ejecución del algoritmo se tiene el caso de la agregación ponderada convencional, *Conventional Weighted Aggregation* (CWA) la cual es incapaz de detectar soluciones en las regiones cóncavas de la frontera de Pareto, para evitar esto los pesos son ajustados dinámicamente durante la optimización. Algunos de estos enfoques son la agregación de

explosión ponderada Bang-Bang Weighted Aggregation (BWA) y la agregación dinámica ponderada Dynamic Weighted Aggregation (DWA) [46]. El uso de BWA resulta en cambios bruscos de los pesos que fuerzan el algoritmo a seguir moviéndose hacia el frente de Pareto. El mismo efecto se logra con DWA, aunque el cambio en los pesos es más suave, los enfoques DWA tienen mejor desempeño que los BWA en fronteras de Pareto convexas. En [47] se propone la primera aproximación de PSO multi-objetivo de agregación ponderada usando los enfoques de CWA, BWA y DWA, que proporcionaron fronteras de Pareto con esparcimiento satisfactorio.

En [48] se considera un enfoque similar, donde el enjambre se divide en sub-enjambres y cada uno utiliza un ajuste de peso específico. La mejor partícula de cada enjambre sirve como un líder solo para sí mismo. Adicionalmente se usa una decisión preliminar de Pareto con el fin de buscar más a fondo los puntos que son soluciones candidatas de Pareto óptimas.

Adicionalmente en [49] se propone un enfoque de pesos modificados dinámicamente, incorporando un operador de mutación para evitar el estancamiento del enjambre, así como un término de aceleración que incrementa la convergencia en etapas posteriores del algoritmo. Las dos posiciones, nueva y antigua, son evaluadas e introducidas en una lista a la cual se aplica la técnica de clasificación no dominada encargada de seleccionar las partículas no dominadas que sufren un proceso de mutación en un intento de mejorarlas [50]. El conjunto de partículas resultante constituye el enjambre en la siguiente iteración del algoritmo.

### **Enfoque con ordenamiento de las funciones objetivo**

Estos enfoques requieren establecer una clasificación de las funciones objetivo, la minimización se realiza para cada función de forma independiente, partiendo por las más importantes.

Originalmente en [51] se propone un esquema que implementa el ordenamiento de funciones. Este algoritmo fija la función objetivo más simple y minimiza el resto de las funciones objetivo, utilizando una variante de PSO con vecindarios dinámicos. Este algoritmo no usa ningún registro externo y las soluciones no dominadas son almacenadas como mejores posiciones de las partículas.

Finalmente en [52] se puede observar una extensión del enfoque anterior donde se incorpora un registro externo para almacenar las soluciones no dominadas y reducir el costo computacional.

### **Enfoques de vector evaluado no basados en Pareto**

Inicialmente en [47] se propuso el esquema vector evaluado PSO, Vector Evaluated Particle Swarm Optimization (VEPSO) basado en la idea del algoritmo genético de vector evaluado, Vector Evaluated Genetic Algorithm (VEGA), en este enfoque hay un enjambre dedicado para cada función objetivo y es evaluado solamente para esta función. Las mejores posiciones de un enjambre se utilizan para la actualización de la velocidad de otro enjambre.

Adicionalmente en [53], se desarrolla una nueva versión de VEPSO donde cada enjambre es asignado a un procesador y el número de enjambres no es necesariamente igual al número de funciones objetivo. La comunicación entre los enjambres se realiza a través de un esquema similar a la topología de vecindario tipo anillo.

Un enfoque similar a VEPSO, fue propuesto en [54] llamado PSO Multi-Species que utiliza sub-enjambres que forman especies, una para cada función objetivo. Cada sub-enjambre se evalúa solamente con su propia función objetivo y la información de las mejores partículas se comunica a sub-enjambres vecinos, con un término adicional en la ecuación de actualización para la velocidad de las partículas.



## Algoritmos basados en dominancia de Pareto

Estos enfoques usan el concepto de dominancia de Pareto para determinar las mejores posiciones (líderes) que guiarán el enjambre durante la búsqueda. Al respecto en [2] se propuso el PSO multi-objetivo, Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO), uno de los primeros enfoques PSO basados en Pareto donde las soluciones no dominadas detectadas por las partículas se almacenan en un repositorio. El espacio de búsqueda se divide en hipercubos y a cada hipercubo se le asigna un valor de aptitud que es inversamente proporcional al número de partículas que contiene. Utiliza una ruleta clásica para seleccionar un hipercubo y un líder. La mejor posición se actualiza en cada iteración, basado en la relación de dominación entre la mejor posición existente de la partícula y su nueva posición. El registro tiene un tamaño limitado y las nuevas posiciones se insertan basándose en el criterio de retención que da prioridad a las soluciones situadas en las zonas menos pobladas del espacio objetivo.

Otro adelanto se puede observar en [55], donde se propone un esquema PSO multi-objetivo que se ocupa de las ineficiencias causadas por el truncamiento del registro limitado de soluciones no dominadas, utilizando una estructura árbol sin restricciones para el mantenimiento de registro llamada árbol dominado. Trabaja de manera similar a MOPSO, excepto por el repositorio que se mantiene a través de las estructuras antes mencionadas. Adicionalmente usa un operador de mutación (locura) sobre la velocidad de las partículas para preservar la diversidad.

En [56] se presenta un método que emplea el estimador de densidad del vecino más cercano en combinación con un esquema de ruleta para la selección de líderes. Los líderes seleccionados son utilizados para actualizar la posición del resto de partículas. Los líderes con radio de apiñamiento superior tienen una mayor probabilidad de selección

ya que promueven la propagación uniforme de soluciones en la frontera de Pareto.

Por otra parte, en [57] se puede observar un método basado en un esquema elitista de registro que utiliza dos funciones: una para realizar selección y otra para eliminar un valor de aptitud de cada partícula. La selección del valor de aptitud es una medida de la influencia de la partícula a la propagación de la frontera de Pareto y aumenta con la distancia de sus vecinos más cercanos.

Un desarrollo de algoritmos de optimización multi-objetivo de enjambre de partículas inspirados en algoritmos evolutivos se presenta en [58], donde la actualización de las partículas es completamente diferente a cualquier algoritmo de PSO. Las ecuaciones de actualización de las partículas son sustituidas por un árbol de herencia de probabilidad y las partículas en vez de moverse en el espacio de búsqueda con una velocidad adaptable, heredan los parámetros de su nueva posición mediante una asignación dinámica de la probabilidad de herencia que controla las probabilidades teniendo en cuenta la retroalimentación del estado convergente del algoritmo y la aptitud de la mejor partícula en general.

Una propuesta de varios algoritmos MOPSO se aprecia en [59], en los cuales se incorporan esquemas especiales para la selección de los miembros del registro que participan en la actualización de la velocidad de las partículas. Se propone un enfoque MOPSO en combinación con el método sigma que asigna un valor numérico a cada partícula y miembro del registro; una partícula utiliza como líder el miembro del registro con el valor sigma más cercano al suyo y utiliza un factor de turbulencia (mutación) para la actualización de la posición de la partícula.

Una propuesta denominada max-min PSO se presenta en [60], con este enfoque se utiliza la función de aptitud max-min donde solo los vectores

decisión con un valor de la función max-min menor que cero pueden ser soluciones no dominadas con respecto a la población actual. La función max-min promueve la diversidad del enjambre ya que penaliza a las partículas que se juntan en grupos, favorece las soluciones en medio de fronteras convexas y en los extremos en fronteras cóncavas. De la misma forma las soluciones no dominadas se almacenan en un registro para servir como líderes.

Un algoritmo MOPSO modificado denominado Another Multi-Objective Particle Swarm Optimization (AMOPSO) se propone en [61], donde sub-enjambres son utilizados para explorar las diferentes regiones del espacio de búsqueda. Cada sub-enjambre tiene su propio grupo de líderes que son seleccionados al azar y sirven como guías hacia la frontera de Pareto. Este enfoque no utiliza registro externo y alivia problemas relacionados con espacios de búsqueda discontinuos.

Otro algoritmo denominado Online Adaptation in Multi-Objective Particle Swarm Optimization (OMOPSO) es presentado en [62], el cual emplea una estimación del vecino más cercano y dos registros externos: en el primero se almacenan las mejores posiciones seleccionadas para la iteración actual de PSO y en el otro se guardan las soluciones no dominadas. También hace uso de turbulencia. Además incorpora un mecanismo para retirar los líderes, cuando su número supera un umbral.

En [63] se propone un algoritmo donde se utilizan varios registros externos, uno para las soluciones globales y uno para cada partícula, donde almacena las soluciones de Pareto óptimas recientemente descubiertas. Hace uso de una ruleta para la selección e introduce en los registros el envejecimiento de los líderes.

Por otra parte, en [64] se desarrolla el Multi-Objective Particle Swarm Optimization Crowding Distance (MOPSO-CD) que incorpora un mecanismo de distancia de hacinamiento para la selección de

la mejor partícula global y la eliminación de las soluciones no dominadas del registro externo. Emplea mutación para mantener la diversidad de las soluciones no dominadas. La distancia de hacinamiento se calcula por separado para cada solución no dominada. Una porción de soluciones no dominadas con las distancias de hacinamiento más altas son seleccionadas al azar para servir como líderes del enjambre.

Un trabajo adicional se puede apreciar en [65] donde se proponen las técnicas *Rounds*, *Random* y *Prob*, basadas en el concepto de dominancia de Pareto para seleccionar a los líderes del registro externo. *Rounds* utiliza como guía global de una partícula la solución no dominada que domina la menor cantidad de partículas del enjambre. *Random* utiliza como guía global de una partícula una solución no dominada probabilísticamente seleccionada, donde cada solución no dominada tiene la misma probabilidad de selección. *Prob* constituye una extensión de *Random* que favorece a los miembros del registro que dominan el menor número de puntos. También se emplea mutación en este algoritmo.

La presentación del algoritmo MOPSO Fitness Sharing (MOPSO-FS) se realiza en [66], la cual es una variante que emplea el intercambio explícito de aptitud donde a cada partícula en el repositorio de soluciones no dominadas se le asigna una aptitud. Este esquema de aptitud compartida asigna valores de aptitud más altos a soluciones con un número pequeño de otras soluciones que la rodean. Los líderes del enjambre son seleccionados a través de una ruleta que utiliza los valores de aptitud asignados.

Un esquema donde cada partícula conserva todas las soluciones no dominadas que se han encontrado se presenta en [67]. En este enfoque se proponen diferentes técnicas, que van desde la selección aleatoria pura hasta el uso de pesos y técnicas de preservación de la diversidad.

La presentación de Smart Multi-Objective Particle Swarm Optimization (SMOPSO) se realiza en [68], el cual incorpora una estrategia para la selección de líderes donde se evalúa cada partícula de acuerdo con cada función objetivo por separado asumiendo como media de las mejores partículas la mejor posición global, para la actualización de enjambre para cada función objetivo.

Finalmente en [69] se realiza una revisión sobre optimización, tanto de uno como de varios objetivos, analizando de manera experimental los efectos de la inercia, el coeficiente de aceleración y el mecanismo de selección aleatorio.

## ENFOQUES ADICIONALES DE ALGORITMOS PSO MULTI-OBJETIVO

En esta sección se revisan enfoques adicionales que se han realizado para los algoritmos multi-objetivo basados en enjambres de partículas.

### Enfoque adaptativo

Sobre un primer enfoque en [70] se propone el Adaptive Multi-objetivo Particle Swarm Optimization (AMOPSO). Este algoritmo incorpora la inercia y el coeficiente de aceleración como variables de control con las variables de optimización habituales. También se incorpora un nuevo parámetro de diversidad para asegurar la diversidad suficiente entre las soluciones de la parte del frente de Pareto no dominadas.

Otro trabajo se puede apreciar en [71], donde las partículas no dominadas se almacenan en un repositorio externo que se actualiza continuamente a través de un mecanismo de adaptación. El algoritmo incluye un operador de mutación auto-adaptativa. La estrategia propuesta se encuentra basada en el conocimiento de un frente aproximado de Pareto, lo cual permite calcular el desempeño de las soluciones existentes.

En [72] se propone un algoritmo donde la inercia y los coeficientes de aceleración se modifican de forma dinámica para explorar el espacio de búsqueda de manera más eficiente. La distancia de hacinamiento y el mecanismo de mutación se emplean para mantener la diversidad de soluciones no dominadas.

Adicionalmente en [74] se propone la integración de una estrategia dinámica de población, es decir que se puede controlar de forma dinámica el tamaño de la población. El algoritmo propuesto se denomina dinámica poblacional de varios enjambres MOPSO. La estrategia adaptativa de los archivos locales se diseñan para mejorar la diversidad de cada enjambre.

Finalmente en [75] se proponen tres operadores de mutación incluyendo Gauss caótico, Cauchy y Levy combinados con PSO. Se observa que estos operadores de turbulencia mejoran las capacidades de exploración. Adicionalmente se adopta una estrategia auto-adaptativa para la estimación de parámetros.

### Enfoque híbrido

Sobre enfoques híbridos en [76] se propone el Quantum Evolutionary Algorithm (QEA) el cual es un algoritmo de optimización basado en el concepto de la computación cuántica y PSO aplicado a problemas multi-objetivo.

Por otra parte, en [77] se propone un algoritmo PSO híbrido donde se utiliza un método de suma ponderada basada en recocido simulado para realizar la búsqueda local. El mecanismo de búsqueda local impide la convergencia prematura, por lo tanto, mejora la capacidad de convergencia con el verdadero frente de Pareto. Mientras tanto, el problema de optimización multi-objetivo se convierte en el problema de optimización restringido. Adicionalmente se utiliza una nueva estrategia de selección basada en el principio de dominancia para seleccionar el siguiente enjambre.

## Enfoque multi-enjambre

En relación a enfoques que emplean varios grupos de individuos, en [73] se propone un algoritmo con múltiples enjambres llamado Distance Sorting Multi-Objective Particle Swarm Optimization (DSMOPSO), el número de enjambres se ajusta dinámicamente. En este trabajo se propone una estrategia de enjambre dinámico para asignar un número apropiado de enjambres, según sea necesario. También se emplea un mecanismo modificado para la actualización PSO con el fin de gestionar mejor la convergencia y la comunicación entre y dentro de los enjambres. Finalmente se propone la compresión del espacio objetivo y la estrategia de expansión de forma progresiva para explotar el espacio objetivo durante las diferentes etapas del proceso de búsqueda.

Adicionalmente en [78] se propone una mejora de la estrategia del crecimiento del enjambre para múltiples enjambres MOPSO. Además se realizó un análisis de sensibilidad para estudiar el impacto de los parámetros de ajuste en su desempeño.

Por su parte en [79], se desarrolla una estrategia PSO de dos fases basada en agrupación. La población inicial se construye de acuerdo a la distribución de las partículas. Las subpoblaciones que representan los grupos de partículas especializados en nichos se identifican de forma dinámica utilizando algoritmos de agrupamiento basados en densidad. La evolución de las partículas se restringe en cada nicho, de la misma forma no se intercambia información entre los diferentes nichos.

Otro trabajo relacionado se puede observar en [80] donde se propone un algoritmo de optimización multi-objetivo con múltiples enjambres; así, se propone que el número de enjambres se ajuste adaptativamente en todo el proceso de búsqueda. La estrategia asigna un número apropiado de enjambres para mejorar la convergencia y la diversidad entre los enjambres. Se incluye un mecanismo de

actualización PSO para gestionar mejor la comunicación dentro de un enjambre y entre enjambres y una compresión del espacio. También se realiza una expansión del espacio de búsqueda para realizar una exploración progresiva de este.

Según [81] la técnica de enjambres PSO como también la optimización por colonia de hormigas Ant Colony Optimization (ACO) han atraído el interés de los investigadores debido a su simplicidad, eficacia y eficiencia en la resolución de problemas de optimización. En [81] proponen que al incrementar el número de individuos del enjambre aumenta la exactitud.

En [82] se expone que los algoritmos evolutivos multi-objetivo tienen dificultad para asignar la aptitud de los individuos porque los diferentes objetivos a menudo entran en conflicto. Para evitar esta dificultad en [82] se propone una técnica co-evolutiva que emplea varias poblaciones para múltiples objetivos. Con este enfoque se proporciona una manera simple y directa para resolver el problema multi-objetivo dejando que cada población corresponda a un solo objetivo. De esta manera, el problema de asignación de aptitud se puede abordar porque la aptitud de los individuos en cada población se puede asignar por el objetivo correspondiente. Así, se propone el algoritmo Coevolutionary Multiswarm PSO (CMPSO) el cual emplea un archivo compartido externo para diferentes poblaciones a fin de intercambiar la información requerida incorporando dos mecanismos. El primero consiste en modificar la ecuación de velocidad utilizando la información encontrada por diferentes poblaciones. El otro mecanismo consiste en el uso de una estrategia de aprendizaje elitista para la actualización de archivo compartido.

Por otra parte, según [83] los problemas de optimización con más de un objetivo, donde al menos un objetivo cambia en el tiempo, son llamados problemas de optimización multi-objetivo dinámicos. Si por lo menos dos objetivos están en conflicto no existe una

única solución y por lo tanto el objetivo de un algoritmo de optimización multi-objetivo dinámico es seguir el conjunto de soluciones óptimas en el tiempo. Uno de los principales problemas al resolver problemas de optimización, es equilibrar la exploración y explotación durante el proceso de búsqueda. En [83] se investiga el desempeño del algoritmo de optimización de enjambre de partículas de vector evaluado dinámico, utilizando un enjambre heterogéneo, donde cada partícula tiene un comportamiento diferente, es decir que se tienen partículas especializadas en exploración y explotación por separado.

### Descomposición de funciones

Sobre esta orientación en [84] se estudia la aplicación de técnicas de MOPSO utilizando métodos de descomposición, donde se propone un algoritmo que integra un enfoque evolutivo multi-objetivo basado en descomposición.

Por su parte en [85] se propone una técnica para el control del área de las soluciones dominantes denominada Control of Dominance Area of Solutions (CDAS). La propuesta se analiza de forma experimental para identificar la influencia en la convergencia y la diversidad a través del análisis de algunos indicadores de calidad y pruebas estadísticas.

### Propuestas para mejorar los algoritmos PSO multi-objetivo

Sobre mejoras del algoritmo MOPSO en [86] se propone un mecanismo de perturbación basada en el método de Taguchi. Se incluye la selección por torneo para las mejores soluciones globales con el propósito de ampliar el espacio de búsqueda y se emplea la perturbación de Taguchi para mejorar la capacidad de búsqueda y reducir la posibilidad de caer en óptimos locales.

Por su parte en [87] se propone un método de intercambio de información proporcionando a las

partículas la capacidad de avanzar hacia el verdadero frente de Pareto.

En [88] se propone un algoritmo que incorpora la técnica de caminata aleatoria para mejorar la búsqueda local de las soluciones no dominadas. También se considera una métrica de hacinamiento para lograr una buena distribución de las partículas sobre el frente de Pareto.

Un trabajo adicional se puede observar en [89] y [90], donde se propone un algoritmo compuesto por dos etapas. En el primer paso se divide la población en grupos y cada grupo lleva a cabo la búsqueda para una función objetivo en particular. En el segundo paso, se realiza la búsqueda para adquirir la diversidad de soluciones de Pareto empleando el mejor punto global basado en las soluciones adquiridas en el primer paso.

En [91] se presenta una mejora del algoritmo de optimización de enjambre de partículas multi-objetivo basado en un archivo de hipercubo dinámico. El algoritmo propuesto considera una modificación del método de archivo hipercubo propuesto originalmente en 2002 por Coello y Lechuga, y cambia los límites del espacio objetivo dinámicamente en el proceso de optimización. Cuando las partículas quedan atrapadas en los frentes locales de Pareto, el algoritmo introduce un proceso de mutación con el fin de ayudar a las partículas a saltar.

Según [92] para la optimización multi-objetivo basada en enjambres de partículas se tienen aspectos de importancia. El primer aspecto a considerar es el método de selección para la mejor posición individual y global. El segundo consiste en utilizar un archivo para conservar buenas posiciones del conjunto óptimo de Pareto. Considerando estos aspectos en [92] se presenta un método para seleccionar la mejor posición individual basada en el desempeño de una de las funciones objetivo. Para la selección de la mejor posición global se emplean las posiciones almacenadas previamente.

En [93] se analizan diferentes esquemas para la selección del líder. En este trabajo se muestra una variante que utiliza el indicador de hipervolumen para orientar la selección líder. Basándose en los resultados se concluye que el uso del hipervolumen para la selección del líder es un enfoque prometedor en los algoritmos PSO multi-objetivos.

Por otra parte en [94] se realiza una propuesta buscando mejorar tanto la explotación y la capacidad de exploración de MOPSO basado en la combinación de un transposón y los enfoques de siembra elitistas. Un transposón o elemento genético transponible es una secuencia de ADN que puede moverse de manera autosuficiente a diferentes partes del genoma de una célula, un fenómeno conocido como transposición.

En [95] se propone un método de máxima puntuación para identificar los mejores individuos con el fin de guiar el proceso de búsqueda sin la necesidad de utilizar la dominancia de Pareto. Con este enfoque se mantiene un archivo con la máxima capacidad. En cada iteración, el archivo se actualiza con la inclusión de las soluciones no dominadas de la población combinada y el archivo. Si el tamaño del archivo supera la capacidad máxima, se corta según el *ranking* máximo.

Por otra parte, en [96] se propone un algoritmo PSO basado en un conjunto de operadores de evolución. El método para la evolución de los conjuntos de soluciones PSO se administra junto con la selección de las mejores partículas globales y locales.

En [97] se propone el cálculo de la distancia de la raíz cuadrada, (Square Root Distance SRD) entre las partículas y los líderes para el proceso de selección. Este nuevo criterio puede hacer que todos los enjambres exploren el frente de Pareto de manera más uniforme. La segunda propuesta consiste en el procedimiento para actualizar los miembros del archivo. Cuando el archivo externo está lleno y un nuevo miembro se va a agregar, un miembro del

archivo con el valor SRD pequeño entre sus vecinos se elimina. Con esta disposición, las soluciones no dominadas pueden ser bien distribuidas.

Según [98] debido a su rápida convergencia la optimización de enjambre de partículas incurre en una rápida pérdida de la diversidad durante el proceso evolutivo, lo cual no permite tener una aproximación precisa y bien distribuida del verdadero frente de Pareto. Considerando lo anterior en [98] se propone evaluar el entorno evolutivo incluyendo la densidad, el rango y los indicadores de diversidad basados en las mediciones de distancia de grupos, el potencial y la entropía de distribución, respectivamente. Con este enfoque se busca ajustar dinámicamente el equilibrio en la exploración y explotación de acuerdo con la información de realimentación desde el entorno evolutivo.

## DISCUSIÓN

Con la revisión realizada se puede apreciar que existen diferentes enfoques y propuestas tanto de algoritmos evolutivos como de algoritmos basados en enjambres de partículas para optimización multi-objetivo. Al respecto es de resaltar que se mantiene la investigación en este campo, siendo una alternativa la propuesta de una Estrategia de Optimización multi-objetivo (EOM) con el control de la diversidad (CD) basada en la emulación de la propiedad emergente *movimiento exitoso* de un enjambre que persigue una meta y la consigue de manera colaborativa.

## CONCLUSIONES

Con esta revisión es posible identificar que el enfoque más empleado para el desarrollo de algoritmos de optimización multi-objetivo bio-inspirados se encuentra basado en la dominancia de las soluciones encontradas.

Considerando los resultados reportados en los artículos revisados se observa que los algoritmos

genéticos multi-objetivo presentan una muy buena capacidad de exploración, sin embargo su tiempo de convergencia es lento.

Por su parte los algoritmos de optimización multi-objetivo basados en enjambres de partículas presentan una buena tasa de convergencia, a pesar de ello su capacidad de exploración se encuentra comprometida.

Es de apreciar que un factor de importancia en el momento de implementar un algoritmo de optimización multi-objetivo, basado en el frente de Pareto, consiste en la forma como se actualiza la lista de soluciones no dominadas.

Se espera emplear los conceptos identificados en esta revisión para el desarrollo de un algoritmo de optimización multi-objetivo basado en el movimiento colectivo de un enjambre de partículas, de tal forma que se logre una buena exploración del frente óptimo de Pareto.

## REFERENCIAS

- [1] C. Coello, D. Van Veldhuizen, G. Lamont, *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*, Springer, Second Edition, 2007.
- [2] C. Coello., M. Salazar, *MOPSO: A proposal for multiple objective particle swarm optimization*, In Proceedings of the IEEE Congress of Evolutionary Computation, 2002.
- [3] D. Van Veldhuizen, G. Lamont, "Multiobjective Evolutionary Algorithms: Analyzing the State-of-the-Art", *Evolutionary Computation*, vol. 8, no. 2, pp. 125-147, 2000.
- [4] J. Schaffer, *Multiple Objective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithms*, Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications, pp. 93-100, 1985.
- [5] D. Van Veldhuizen, *Multiobjective Evolutionary Algorithms: Classifications, Analyses, and New Innovations*, Ph.D. thesis, Air Force Institute of Technology, Wright - Patterson AFB, Ohio, 1999.
- [6] E. Zitzler, L. Thiele, *An evolutionary algorithm for multiobjective optimization: The strength Pareto approach*, Technical report 43, Computer engineering and Networks Laboratory (TIK), Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, 1999.
- [7] E. Zitzler, L. Thiele, "Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach", *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, vol 3, no. 4, pp. 257-271, 1999.
- [8] J. Knowles, D. Corne, *The Pareto archived evolution strategy: A new baseline algorithm for Pareto multiobjective optimization*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 1999.
- [9] D. Corne, J. Knowles, M. Oates, "The Pareto envelope - based selection algorithm for multiobjective optimization", *Parallel Problem Solving from Nature - PPSN VI*, pp. 839-848, 2000.
- [10] K. Deb, S. Agrawal, A. Pratap, T. Meyarivan, "A fast elitist non - dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA II", *Parallel Problem Solving From Nature - PPSN VI*, pp. 849-858, 2000.
- [11] E. Zitzler, M. Laumanns, L. Thiele, *SPEA 2: Improving the Strength Pareto Evolutionary algorithm*, Technical report 103, Computer engineering and Networks Laboratory (TIK), Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, 2001.
- [12] D. Dumitrescu, C. Grosan, M. Oltean, *Simple Multiobjective, Evolutionary Algorithm*, *Seminars on Computer Science*, Faculty of Mathematics and Computer Science, Babe-Bolyai University of Cluj-Napoca, pp. 3-12, 2001.
- [13] D. Dumitrescu, C. Grosan, M. Oltean, "A new evolutionary adaptive representation paradigm", *Studia Universitatis Babes-Bolyai, Seria Informatica*, vol. XLVI, no. 1, pp. 15-30, 2001.
- [14] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Massachusetts, 1989.

- [15] N. Srinivas, K. Deb, "Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms", *Journal of Evolutionary Computation*, vol. 2, no. 3, pp. 221-248, 1994.
- [16] J. Horn, N. Nafpliotis, D. Goldberg, *A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization*, IEEE World Congress on Computational Intelligence, IEEE Conference on Evolutionary Computation, 1994.
- [17] M. Erickson, A. Mayer, J. Horn, "The niched Pareto genetic algorithm 2 applied to the design of groundwater remediation systems", *Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1993, pp. 681-695, 2001.
- [18] E. Zitzler, M. Laumanns, L. Thiele, "SPEA 2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm", *CIMNE, Evolutionary Methods for Design, Optimisation, and Control*, pp. 95-100, 2002.
- [19] D. Cvetkovic, I. Parmee, "Preferences and their application in evolutionary multiobjective optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, no. 1, pp. 42-57, 2002.
- [20] A. Lara, G. Sanchez, C. Coello, O. Schutze, "HCS: A New Local Search Strategy for Memetic Multiobjective Evolutionary Algorithms", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 14, no. 1, 2010.
- [21] Y. Junchi, L. Guoqiang, *Double space based multiobjective evolutionary algorithm*, International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), 2012.
- [22] P. Bosman, "On Gradients and Hybrid Evolutionary Algorithms for Real-Valued Multiobjective Optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 16, no. 1, 2012.
- [23] D. Brockhoff, E. Zitzler, *Improving hypervolume-based multiobjective evolutionary algorithms by using objective reduction methods*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2007.
- [24] I. Karahan, M. Köksalan, "A Territory Defining Multiobjective Evolutionary Algorithms and Preference Incorporation", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 14, no. 4, 2010.
- [25] Z. Qingfu, L. Hui, "MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 11, no. 6, 2007.
- [26] L. Chi-Ho, K. Ye-Hoon, K. Jong-Hwan, *Multiobjective evolutionary algorithm reinforcing specific objective*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2008.
- [27] L. Hai-lin, L. Xueqiang, *The multiobjective evolutionary algorithm based on determined weight and sub-regional search*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2009.
- [28] G. Montemayor-Garcia, G. Toscano-Pulido, *A study of surrogate models for their use in multiobjective evolutionary algorithms*, 8th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control (CCE), 2011.
- [29] Z. Aimin, Z. Qingfu, Z. Guixu, *A multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition and probability model*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2012.
- [30] L. Hai-Lin, W. Dan, *A constrained multiobjective evolutionary algorithm based decomposition and temporary register*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2013.
- [31] W. Chen, Y. Gong, Z. Zhan, J. Zhang, Y. Li, Y. Tan, "An Evolutionary Algorithm with Double-Level Archives for Multiobjective Optimization", *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. PP, no. 99, 2014.
- [32] W. Rui, R. Purshouse, P. Fleming, "Preference-Inspired Coevolutionary Algorithms for Many-Objective Optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 17, no. 4, pp. 474-494, 2013.
- [33] Q. Rongbin, D. Wenli, W. Zhenlei, Q. Feng, *Multiobjective evolutionary algorithm based on the Pareto Archive and individual migration*, 7th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), 2008.



- [34] J. Fieldsend, R. Everson, S. Singh, "Using unconstrained elite archives for multiobjective optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 7, no. 3, pp. 305-323, 2003.
- [35] H. Shinn-Ying, S. Li-Sun, C. Jian-Hung, "Intelligent evolutionary algorithms for large parameter optimization problems", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 8, no. 6, pp. 522-541, 2004.
- [36] H. Sato, H. Aguirre, K. Tanaka, *Local dominance using polar coordinates to enhance multiobjective evolutionary algorithms*, Congress on Evolutionary Computation, 2004.
- [37] H. Sato, H. Aguirre, K. Tanaka, *On the locality of dominance and recombination in multiobjective evolutionary algorithms*, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2005.
- [38] W. Yong, C. Zixing, *A constrained optimization evolutionary algorithm based on multiobjective optimization techniques*, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2005.
- [39] M. Sato, H. Aguirre, K. Tanaka, *Effects of d-Similar Elimination and Controlled Elitism in the NSGA-II Multiobjective Evolutionary Algorithm*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2006.
- [40] C. Zixing, W. Yong, "A Multiobjective Optimization-Based Evolutionary Algorithm for Constrained Optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 10, no. 6, 2006.
- [41] L. Rachmawati, D. Srinivasan, "Multiobjective Evolutionary Algorithm With Controllable Focus on the Knees of the Pareto Front", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 13, no. 4, 2009.
- [42] Y. Song, J. Ji, Y. Wang, C. Liu, *A New Evolutionary Algorithm for Solving Multiobjective Optimization*, Fifth International Conference on Natural Computation (ICNC), 2009.
- [43] D. Phan, J. Suzuki, *Boosting Indicator-Based Selection Operators for Evolutionary Multiobjective Optimization Algorithms*, 23rd IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2011.
- [44] C. Chi, Y. Shiu, "A Multiobjective Evolutionary Algorithm That Diversifies Population by Its Density", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 16, no. 2, 2012.
- [45] L. Ke, A. Fialho, S. Kwong, Z. Qingfu, "Adaptive Operator Selection With Bandits for a Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 18, no. 1, 2014.
- [46] K. Parsopoulos, M. Vrahatis, *Multi-Objective Particles Swarm Optimization Approaches*, IGI Global, 2008.
- [47] K. Parsopoulos, M. Vrahatis, *Particle swarm optimization method in multiobjective problems*, In Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing, 2002.
- [48] U. Baumgartner, C. Magele, W. Renhart, "Pareto optimality and particle swarm optimization", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 40, no. 2, pp. 1172-1175, 2004.
- [49] M. Mahfouf, M. Chen, D. Linkens, "Adaptive weighted particle swarm optimisation for multi-objective optimal design of alloy steels", *Lecture notes in computer science*, vol. 3242, pp. 762-771, 2004.
- [50] X. Li, "A non-dominated sorting particle swarm optimizer for multi-objective optimization", *Lecture notes in computer science*, vol. 2723, pp. 37-48 2003.
- [51] X. Hu, R. Eberhart, *Multi-objective optimization using dynamic neighborhood particle swarm optimization*, IEEE Congress Evolutionary Computation, 2002.
- [52] X. Hu, R. Eberhart, Y. Shi, *Particle swarm with extended memory for multi-objective optimization*, IEEE Swarm Intelligence Symposium, 2003.
- [53] K. Parsopoulos, M. Vrahatis, *On the computation of all global minimizers through particle swarm optimization*, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2004.

- [54] C. Chow, H. Tsui, *Autonomous agent response learning by a multi-species particle swarm optimization*, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2004.
- [55] J. Fieldsend, S. Singh, *A multiobjective algorithm based upon particle swarm optimisation, An efficient data structure and turbulence*, In Proceedings of the UK Workshop on Computational Intelligence, 2002.
- [56] T. Ray, K. Liew, "A swarm metaphor for multi-objective design optimization", *Engineering Optimization*, vol. 34. no. 2, pp. 141-153, 2002.
- [57] T. Bartz-Beielstein, P. Limbourg, J. Mehnen, K. Schmitt, K. Parsopoulos, M. Vrahatis, *Particle swarm optimizers for Pareto optimization with enhanced archiving techniques*, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2003.
- [58] D. Srinivasan, T. Seow, *Particle swarm inspired evolutionary algorithm (PSEA) for multi-objective optimization problem*, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2003.
- [59] S. Mostaghim, J. Teich, *Strategies for finding good local guides in multi-objective particle swarm optimization (MOPSO)*, IEEE Swarm Intelligence Symposium, 2003.
- [60] X. Li, "Better spread and convergence: Particle swarm multi-objective optimization using the maximin fitness function", *Lecture notes in computer science*, vol. 3102, pp. 117-128, 2004.
- [61] G. Toscano, C. Coello, "Using clustering techniques to improve the performance of a particle swarm optimizer", *Lecture notes in computer science*, vol. 3102, pp. 225-237, 2004.
- [62] M. Reyes-Sierra, C. Coello, *Online adaptation in multi-objective particle swarm optimization*, IEEE Swarm Intelligence Symposium, 2006.
- [63] S. Ho, S. Yang, G. Ni, E. Lo, H. Wong, "A particle swarm optimization-based method for multi-objective design optimizations", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 41, no. 5, pp. 1756-1759, 2005.
- [64] C. Raquel, P. Naval, *An effective use of crowding distance in multi-objective particle swarm optimization*, In Proceedings of the GECCO, 2005.
- [65] J. Alvarez-Benitez, R. Everson, J. Fieldsend, "A MOPSO algorithm based exclusively on Pareto dominance concepts", *Lecture notes in computer science*, vol. 3410, pp. 459-473, 2005.
- [66] M. Salazar, J. Rowe, *Particle swarm optimization and fitness sharing to solve multi-objective optimization problems*, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2005.
- [67] S. Mostaghim, J. Teich, "About selecting the personal best in multi-objective particle swarm optimization", *Lecture notes in computer science*, vol. 4193, pp. 523-532, 2006.
- [68] X. Huo, L. Shen, H. Zhu, "A smart particle swarm optimization algorithm for multiobjective problems", *Lecture notes in computer science*, vol. 4115, pp. 72-80, 2006.
- [69] M. Reyes-Sierra M., C. Coello, *Online adaptation in multi-objective particle swarm optimization*, IEEE Swarm Intelligence Symposium, 2006.
- [70] P. Tripathi, S. Bandyopadhyay, S. Pal, *Adaptive multi-objective particle swarm optimization algorithm*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2007.
- [71] S. Agrawal, Y. Dashora, M. Tiwari, S. Young-Jun, "Interactive Particle Swarm: A Pareto-Adaptive Metaheuristic to Multiobjective Optimization", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, vol. 38, no. 2, pp. 258-277, 2008.
- [72] W. Hui, Q. Feng, *Improved PSO-based Multi-Objective Optimization using inertia weight and acceleration coefficients dynamic changing, crowding and mutation*, 7th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), 2008.
- [73] L. Wen-Fung, G. Yen, *Dynamic swarms in PSO-based multiobjective optimization*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2007.

- [74] L. Wen-Fung, G. Yen, "PSO-Based Multiobjective Optimization With Dynamic Population Size and Adaptive Local Archives", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, vol. 38, no. 5, pp. 1270-1293, 2008.
- [75] C. Jinyin, Y. Dongyong, *Constrained handling in multi-objective optimization based on Quantum-behaved particle swarm optimization*, Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC), vol. 8, 2010.
- [76] M. Hossain, M. Hossain, M. Hashem, M. Ali, *Quantum Evolutionary Algorithm based on Particle Swarm theory in multiobjective problems*, 13th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIIT), 2010.
- [77] W. Jingxuan, W. Yuping, *A New Model Based Hybrid Particle Swarm Algorithm for Multi-objective Optimization*, Third International Conference on Natural Computation (ICNC), vol. 3, 2007.
- [78] W. Leong, G. Yen, *Impact of tuning parameters on dynamic swarms in PSO-based multiobjective optimization*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) (IEEE World Congress on Computational Intelligence), 2008.
- [79] G. Haichang, Z. Weizhou, *Multiobjective Optimization Using Clustering Based Two Phase PSO*, Fourth International Conference on Natural Computation (ICNC), vol. 6, 2008.
- [80] G. Yen, L. Wen, "Dynamic Multiple Swarms in Multiobjective Particle Swarm Optimization", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, vol. 39, no. 4, pp. 890-911, 2009.
- [81] W. Elloumi, A. Alimi, *A more efficient MOPSO for optimization*, IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA), 2010.
- [82] Z. Zhi-Hui, L. Jingjing, C. Jiannong, Z. Jun, "Multiple Populations for Multiple Objectives: A Coevolutionary Technique for Solving Multiobjective Optimization Problems", *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 43, no. 2, pp. 445-463, 2013.
- [83] M. Helbig, A. Engelbrecht, *Heterogeneous dynamic vector evaluated particle swarm optimization for dynamic multi-objective optimisation*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2014.
- [84] P. Wei, Z. Qingfu, *A decomposition-based multi-objective Particle Swarm Optimization algorithm for continuous optimization problems*, IEEE International Conference on Granular Computing (GrC), 2008.
- [85] A. De Carvalho, A. Pozo, *Analyzing the control of dominance area of solutions in particle swarm optimization for many-objective*, 10th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS), 2010.
- [86] L. Chi-Nien, H. Chih-Li, L. Shu-Yan, Yu. Yu-Hsiang, *Taguchi-based disturbance with tournament selection to improve on MOPSO*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2011.
- [87] Y. Jintao, Y. Bo, Z. Mingwu, K. Yuyan, *Multiobjective Particle Swarm Optimization with Predatory Escaping Behavior*, 3rd International Workshop on Intelligent Systems and Applications (ISA), 2011.
- [88] O. Soliman, S. Mohamed, E. Ramadan, *A Bio-Inspired Memetic Particle Swarm Optimization Algorithm for Multi-objective Optimization Problems*, Third International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications (IBICA), 2012.
- [89] H. Hirano, T. Yoshikawa, *A study on two-step search using global-best in PSO for Multi-Objective Optimization Problems*, 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), 2012.
- [90] H. Hirano, T. Yoshikawa, *A study on two-step search based on PSO to improve convergence and diversity for Many-Objective Optimization Problems*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2013.
- [91] Z. Guangrui, M. Mahfouf, G. Panoutsos, W. Shen, *A multi-objective particle swarm*

- optimization algorithm with a dynamic hypercube archive, mutation and population competition*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2012.
- [92] T. Uchitane, T. Hatanaka, *Experimental study for multi-objective PSO with single objective guide selection*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2012.
- [93] A. Nebro, J. Durillo, C. Coello, *Analysis of leader selection strategies in a multi-objective Particle Swarm Optimizer*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2013.
- [94] Y. Zhenlun, A. Wu, M. Huaqing, *A Multi-objective PSO algorithm with transposon and elitist seeding approaches*, Sixth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), 2013.
- [95] G. Ying, P. Lingxi, L. Fufang, L. Miao, *Multi-objective cloud estimation of distribution particle swarm optimizer using maximum ranking*, 10th International Conference on Natural Computation (ICNC), 2014.
- [96] S. Xiaoyan, X. Ruidong, Z. Yong, G. Dunwei, *Sets evolution-based particle swarm optimization for many-objective problems*, IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 2014.
- [97] L. Man-Fai, N. Sin-Chun, C. Chi-Chung, A. Lui, *A new strategy for finding good local guides in MOPSO*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2014.
- [98] H. Wang, G. Yen, "Adaptive Multiobjective Particle Swarm Optimization Based on Parallel Cell Coordinate System", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 19, no. 1, pp. 1-18, 2015.





## Diagnóstico y propuesta de gestión de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá, D.C.

### Motion for diagnosis and management of activities of maintenance system of Bogotá D.C. traffic lights

Jose Ignacio Rodriguez Molano<sup>1</sup> Miguel Ángel Martínez Cárdenas<sup>2</sup>

**Para citar este artículo:** Rodriguez J.I. y Martínez, M.A. (2015). Diagnóstico y propuesta de gestión de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá, D.C. *Revista Redes de Ingeniería*. 6(2), 77-91.

**Recibido:** 08-agosto-2015 / **Aprobado:** 10-noviembre-2015

#### Resumen

Dado que es una necesidad mejorar constantemente la malla vial en la ciudad de Bogotá D.C., así como aprovechar adecuadamente los recursos dispuestos para las vías de carácter local e intermedia, se hace fundamental priorizar en una parte de la infraestructura urbana: la supervisión y mantenimiento detallado de la semaforización, dispositivo que regula el tráfico de vehículos y peatones en las intersecciones de las calles. En este sentido, se caracterizó, identificó y evaluó el despliegue de los contratos interadministrativos que se ejecutan actualmente, mediante visitas de campo que permitieron valorar el estado actual del sistema semafórico, lo que proporcionó una visión holística de su funcionamiento. Lo anterior permitió el planteamiento de alternativas de mejora desde la parte eléctrica, equipos de control, interconexión, postes y obras civiles, para reforzar la conformación del sistema de movilidad según las disposiciones del Plan de Gobierno de Bogotá para el área específica, periodo 2012-2015 y del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá Distrito Capital.

**Palabras clave:** interventoría de equipos de control, interventoría de obras civiles y postes, interventoría eléctrica, movilidad, semaforización.

#### Abstract

Since it is a necessity to constantly improve the road network in the city of Bogotá and benefit adequately prepared resources for local roads and intermediate character is therefore essential to prioritize a part of urban infrastructure such as the monitoring and detailed maintenance of traffic lights, device regulating vehicular traffic and pedestrians at intersections of streets. In this sense, was characterized, identified and evaluated the deployment of inter-administrative contracts that are currently running through field visits that allowed assess the current state of the traffic light system, and it provided a holistic view of their performance. This allowed the approach of improvement alternatives from the Electrical hand, control equipment, interconnection, poles and civil works to strengthen the conformation of the mobility system under the provisions of the Plan of Government of Bogotá for the specific area, period 2012- 2015 and Mobility Master Plan for Bogotá Distrito Capital.

**Keywords:** auditing control equipment, electric auditing, mobility, supervision of civil works and posts, traffic lights.

1. Universidad Distrital Francisco José de Caldas

2. Universidad Distrital Francisco José de Caldas

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano en Colombia en el último siglo ha demandado el incremento del número de desplazamientos de tráfico en general [1], con ocupaciones muy bajas de 1,2 personas/vehículo [2]; lo cual supone la creación de nuevas calles que permitan mayor acceso y movilidad. No obstante, cabe decir que esto ha generado un alto nivel de congestión, contaminación y accidentalidad [3], así como el descenso de la seguridad en los desplazamientos y un uso irracional de los recursos naturales y económicos, por no hablar de problemas de índole social [4]. Esto es un indicio de que el contexto de movilidad presenta una alta repercusión sobre el medio urbano, que tiende a deteriorarse con el paso de los días, dada la poca capacidad organizativa con que se ha ido extendiendo sobre un sistema viario de carreteras, accesos y ejes de conexión [5] y porque no existe una propuesta de planificación que de verdad conjugue y tenga en cuenta la interrelación presente entre expansión urbana y sistemas de transporte [6].

Ante estas tasas fácilmente perceptibles, se hace necesario la creación de nuevos proyectos que se constituyan en la verdadera salida al problema y que por supuesto deben estar relacionados con los temas de transporte y de expansión de sus diferentes ciudades [5], que permita una gestión más eficiente y sostenible, según el *Libro Verde* de la Movilidad Urbana [7]; además, de que toda planificación en su infraestructura ha de garantizar que se cubran las necesidades de los habitantes respecto a su movilización, en entornos urbanos donde los altos índices de motorización y de congestión son predominantes [5].

Si bien es cierto que la ciudad presenta un rezago en su malla vial, la solución no solo puede darse desde la perspectiva de la oferta vial [8], sino que es necesario orientar esfuerzos hacia todos los recursos que provee la Secretaría de Movilidad, particularmente para esta investigación el de la red

semafórica, de ahí deriva la importancia del mantenimiento para optimizar, organizar y hacer viable dicha movilidad urbana en los próximos años, como medio que reconoce esa realidad para prestar un servicio acorde con sus capacidades y requerimientos técnicos, así como eléctricos, articulados con el sistema de movilidad general [9], donde es indispensable el apoyo de la policía, el Ministerio de Transporte y el Fondo de Prevención Vial.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Formalización y estructuración de procedimientos

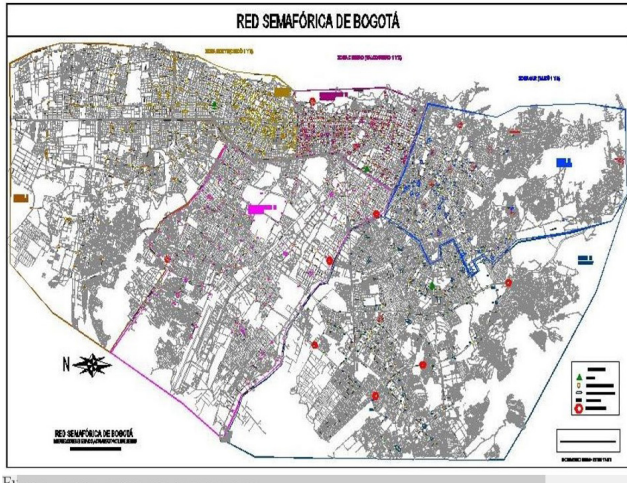
#### Caracterización

La Secretaria Distrital de Movilidad (SDM), como ente responsable y autoridad de tránsito y transporte de la ciudad de Bogotá D.C., es la entidad encargada del mantenimiento, expansión y operación integral del sistema de semaforización, así como de los proyectos de inversión que son un componente fundamental para el control del tránsito de la ciudad. Lo anterior permite la accesibilidad y la circulación, dándole un uso ordenado a los diferentes sistemas de movilidad, tanto para vehículos como peatones, y permite garantizar la movilidad segura y eficiente de los diferentes actores del tránsito en la ciudad.

Actualmente, la ciudad de Bogotá D.C. cuenta con 1017 equipos de control local instalados en las diferentes cruces, los cuales están conectados a la red de distribución eléctrica de la ciudad (SDM, 2013) [10]. Dichos equipos señalizan el paso seguro de aproximadamente mil doscientas cuarenta (1240) intersecciones semaforizadas y funcionan las veinticuatro horas del día los trescientos sesenta y cinco días del año, impartiendo las diferentes señales para el adecuado control del tránsito.

En su gran mayoría, los equipos de control local se encuentran interconectados a tres centrales de

control y monitoreo de tráfico (Chicó, Paloquemao y Muzú). Cada central cuenta con dos computadores de control de tráfico, los marcos de comunicaciones que actúan como los enlaces entre los computadores de tráfico y los equipos de control local, los terminales de manejo y registro de operación del sistema.



**Figura 1.** Planeamiento de SDM. Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad.

Las intersecciones semaforizadas comprenden los siguientes componentes físicos:

- Centro de control
- Equipo de control local
- Semáforos
- Detectores de tráfico
- Postes y ménsulas
- Red eléctrica
- Acometida eléctrica
- Red de interconexión.
- Amueblamiento obras civiles.

Todos los elementos que componen de manera integral la red semafórica, para su buen funcionamiento se enmarcan bajo los siguientes procedimientos, que se relacionan en la tabla 1.

Los procesos descritos anteriormente se ejecutan a través de contratos interadministrativos con el distrito, por lo que es necesario que exista una interventoría que verifique la realización y ejecución de dichas actividades, según los requerimientos y compromisos adquiridos con la Secretaria Distrital de Movilidad.

**Tabla 1.** Caracterización de los procedimientos de interventoría.

Procedimientos	Caracterización
<p><b>Procedimientos de interventoría postes</b></p>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> fabricación, instalación y mantenimiento de los postes para el sistema de semaforización de Bogotá D. C.</p> <p><b>Procedimientos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Trabajos correctivos de cambio de postes</li> <li>2. Reporte de un siniestro</li> <li>3. Trabajos en un siniestro</li> <li>4. Labores de mantenimiento</li> </ol>
<p><b>Procedimientos de interventoría obras civiles</b></p>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> construcción, reconstrucción y mantenimiento de las obras civiles para el sistema de semaforización de Bogotá d. c., incluye diseño semafórico de intersecciones para implementación de nuevos controles semaforizados.</p> <p><b>Procedimientos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Construcción de intersecciones nuevas a semaforizar</li> <li>2. Construcción de complementos de pasos peatonales</li> <li>3. Atención a correctivo y emergencia</li> </ol>

Continúa

<p><b>Procedimiento de planeamiento de tráfico</b></p>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> diseñar y optimizar el planeamiento del control de tráfico en función del tiempo y del tráfico, de la red semaforizada de la ciudad, incluyendo las nuevas intersecciones que se vayan integrando al sistema.  <b>Procedimiento:</b>                      1. Planeamiento</p>
<p><b>Procedimiento de interventoría equipos de control de tráfico</b></p>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> mantenimiento preventivo y correctivo de computadores de tráfico y sus periféricos, equipos de control de tráfico local y conexión de módulos evaluadores de tráfico del sistema de semaforización de Bogotá D.C.  <b>Procedimiento:</b>                      1. Mantenimiento correctivo                      2. Mantenimiento preventivo</p>
<p><b>Procedimiento de interventoría de interconexiones</b></p>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> mantenimiento integral (preventivo y correctivo) de la red de interconexión telefónica del sistema de semaforización de Bogotá D.C.  <b>Procedimientos:</b>                      1. Revisión técnica                      2. Verificación de los mantenimientos preventivos para cada red                      3. Seguimiento del diagnóstico y solución de la falla por parte del contratista                      4. Instalación del cable y la caja terminal para la conexión del equipo con la central                      5. Visita a las cuadrillas en terreno, verificación del plan de manejo de tránsito, elementos de seguridad, entre otros</p>
<p><b>Interventoría al mantenimiento eléctrico</b></p>	<p><b>Objeto del procedimiento:</b> mantenimiento de semáforos y redes eléctricas del sistema de semaforización de Bogotá D.C.  <b>Procedimientos:</b>                      1. Mantenimiento eléctrico correctivo                      2. Mantenimiento eléctrico preventivo</p>

**Levantamiento de la información, sistematización, análisis y priorización de factores representativos**

Durante esta fase se realizó la recolección de datos que permiten sistematizar y seleccionar los problemas con mayor incidencia, importancia y nivel de criticidad en el sistema semaforico de Bogotá D.C., que generan dificultades en la ejecución de los contratos.

**Información, análisis y priorización de problemas encontrados en la fabricación, instalación y mantenimiento de los postes para el sistema de semaforización de Bogotá D.C.**

*Problema: cambio de postes*

Causas:

- La oxidación de cartelas y bases de los postes hacen que este sufra un debilitamiento de tipo estructural (ruptura).
- Postes enterrados en andenes en el momento de la ejecución de obras por contratistas externos, que no cumplen con la normatividad dada en anexos técnicos.

En la tabla 2 se relaciona los porcentajes de los últimos seis meses con respecto al reemplazo de elementos.



**Tabla 2.** Mantenimientos postes semafórico..

Mes	Año	Nivelación Base	Cambio Tornillo	Reemplazo platina base	Reemplazo total platina poste
Marzo	2015	3	32	20	8
Febrero	2015	63	124	49	9
Enero	2015	16	109	38	18
Diciembre	2014	5	22	10	2
Noviembre	2014	28	72	32	9
Octubre	2014	30	82	28	9
Total		145	441	177	55

Uno de los principales problemas que tiene la ciudad de Bogotá D.C. está relacionado con los accidentes de tránsito que involucran choque contra los postes semafóricos, tales accidentes se incrementan en las noches y los fines de semana.

**Información, análisis y priorización de problemas encontrados en construcción, reconstrucción y mantenimiento de las obras civiles para el sistema de semaforización de Bogotá D.C., incluye diseño semafórico de intersecciones para implementación de nuevos controles semaforizados**

*Problema: afectación cajas de paso*

- Hurto o avería de marcos para cajas de paso
- Hurto o avería de tapas para cajas de paso
- Obstrucciones de tuberías

**Información, análisis y priorización de problemas encontrados en mantenimiento preventivo y correctivo de computadores de tráfico y sus periféricos, equipos de control de tráfico local y conexión de módulos evaluadores de tráfico del sistema de semaforización de Bogotá D.C.**

Las actividades y atenciones que realizan los grupos de mantenimiento de equipos de control del

proyecto de semaforización se clasifican de la siguiente forma:

- Energía (ACO): falla en la acometida del equipo.
- Bloqueo de modem (BM): se efectúa desbloqueo de modem de equipo de control
- Trabajo de detectores (DET): instalación o puesta a punto de sistemas de detectores
- Cable eléctrico y semáforos (ELE): falla de conexión eléctrica
- Cable de interconexión (FCI): falla en la comunicación del equipo con la central
- Falla de equipo (FE): fallo en algún módulo de equipo de control
- Instalación de equipo (IE): Se realiza instalación de equipo de control
- Equipo de local a central (LAC): se restablece la conexión del equipo con la central
- Otros (OT): otras actividades
- Puesta en servicio (PS): se da en funcionamiento un equipo de control instalado
- Reprogramación y ampliación del equipo (RAE): se programa para aumentar grupos.
- Retiro de controlador de tráfico (RCT): se retira equipo de control
- Revisión de equipo (RE): se realiza chequeo del equipo

- Recibo de planeamiento (RPL): se recoge planeamiento para equipo de control
- Reprogramación PDM–actuado (RTA): se programa teniendo en cuenta tráfico actuado.
- Reprogramación (RTF): se realiza una reprogramación del equipo de control.

Adicionalmente se realizan actividades, que demandan tiempo y recurso para su atención, tales como:

- Apoyo Grupo Técnico (AGT): se presta apoyo a otro grupo de trabajo
- Actualización Planeamiento de equipo (APE): se modifica planeamiento
- Centro de cómputo (COM): falla en la central de tráfico por causa del computador de control
- Preventivo (PR): mantenimiento preventivo del equipo
- Cambio de armario (CA): por deterioro se cambia el armario del equipo

Las principales fallas que se presentan en los equipos de control se relacionan en la figura 2.

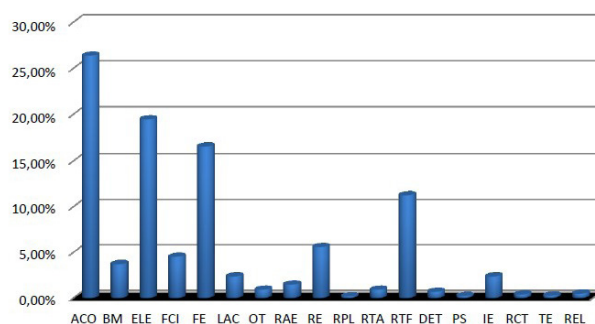


Figura 2. Fallas de equipos de control.

**Información, análisis y priorización de problemas encontrados en mantenimiento integral (preventivo y correctivo) de la red de interconexión telefónica del sistema de semaforización de Bogotá D.C.**

A continuación se observan las causas de las fallas del sistema de Interconexión Electrónica Semaforico.

Tabla 3. Causas de fallas de sistemas de interconexión en los meses del 2014.

Causas de la falla	Periodo													TOTAL
	mar-14	abr-14	may-14	jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15	
Hurto de cable	2	1	4	3	4	3	1	1	4	4	7	4	1	39
Daño por obras civiles	2	2	1	1	2	0	1	2	2	1	3	0	0	17
Daño por roedores	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	8
Hilos rotos o en corto	4	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	11
Bajo aislamiento	0	2	1	0	0	0	1	3	1	0	1	2	0	11
Daño de cable por quema	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3
<b>Total</b>	10	7	7	5	7	4	5	6	8	7	14	7	2	89

**Información, análisis y priorización de problemas encontrados en mantenimiento eléctrico de la red de semaforización de Bogotá D.C.**

Las órdenes de servicio son tienen diferentes orígenes, los cuales se muestran en la tabla 4.

El análisis que se presentará a continuación tiene las siguientes características:

1. Período de tiempo: del 31 de marzo de 2014 al 31 de marzo de 2015.
2. La siguiente tabla muestra la cantidad de órdenes de servicio por diferentes orígenes:

**Tabla 4.** Frecuencia de fallas relacionadas con el mantenimiento eléctrico.

Falla	Cantidad
Accidente de tránsito	223
Acometida en mal estado	7
Bombillas en mal estado	3340
Cable en mal estado	47
Contactos eléctricos en mal estado	398
Cruce nuevo	63
Cumplimiento de la vida útil	3
Deterioro del elemento	130
Falla de energía	262
Falla en equipo de control	7
Hurto / daños por terceros	27
Mantenimiento de bases y postes	203
Modificación de la intersección	50
Modificación de planeamiento	92
Módulo led en falla	174
No hay tensión de salida	20
Afectación por obras	42
Transformadores 120/12 V averiados	76
Traslado equipo de control	5
UPS en falla	2
Vandalismo	168
<b>Total fallas</b>	<b>5339</b>

Con base en la tabla 4, producto del análisis de Pareto, se identificaron tres causas que impactan sobre la red eléctrica del sistema semafórico:

1. Bombillas en mal estado
2. Contactos eléctricos en mal estado
3. Falla de energía

**Presentación de la propuesta de mejora de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá D.C., hallazgos, conclusiones y recomendaciones**

A continuación veremos el análisis y priorización de los resultados de la fase anterior, se realizarán propuestas de mejoramiento del sistema de semaforización de la ciudad de Bogotá D.C., coherentes y factibles.

**Propuesta de solución a problemas encontrados en la fabricación, instalación y mantenimiento de los postes para el sistema de semaforización de Bogotá D.C.**

*Solución al problema: cambio de postes*

- *Causa: siniestros y accidentes de tránsito*  
En intersecciones: instalar o mejorar la señalización preventiva o direccional, instalar signo pare, instalar alumbrado, instalar semáforo peatonal, mejorar los ciclos de semáforos, instalar semáforos preventivos, instalar señalización que anuncia semáforo, instalar signo Ceda el Paso, restringir giros a la izquierda, proveer giro especial a la izquierda, reducir condición deslizante, instalar franjas elevadas, etc.
- *Causa: oxidación*  
Para evitar el empozamiento de aguas y que estas circulen, se puede colocar como apoyo un tronco piramidal para incrementar la vida útil de los postes semafóricos. Siendo la corrosión un fenómeno que depende del material utilizado, de la concepción de la pieza

(forma, tratamiento, montaje) y del ambiente, se puede influir entonces en estos tres parámetros a través de técnicas de modificación de superficie.

La primera idea es seleccionar un material que no se corroa el ambiente considerado. Se pueden utilizar aceros inoxidable, aluminios, cerámicas, polímeros (plásticos), etc. La elección también debe tener en cuenta las restricciones de la aplicación (masa de la pieza, resistencia a la deformación al calor, capacidad de conducir la electricidad, etc.). Cabe recordar que *no* existen materiales absolutamente inoxidables; hasta el aluminio se puede corroer. Por tal motivo, hay que prever también la importancia de la corrosión y el tiempo en el que habrá que cambiar la pieza (mantenimiento preventivo).

***Propuesta de solución a problemas encontrados en construcción, reconstrucción y mantenimiento de las obras civiles para el sistema de semaforización de Bogotá D.C., incluye diseño semafórico de intersecciones para implementación de nuevos controles semaforizados***

*Solución al problema: afectación cajas de paso*

acciones preventivas-correctivas debe dirigirse primero a hurtos o averías de marcos de cajas de paso,

en seguida a hurto o averías de tapas de cajas de paso y en tercer lugar a obstrucción de tuberías. El propósito de las acciones recomendadas (para tener en cuenta en la implementación y evaluación) es reducir las clasificaciones en el siguiente orden: severidad, ocurrencia y detección.

- *Causa: hurto o avería de marcos*

La propuesta para este problema es el rediseño del sistema de anclaje del marco con varillas de acero que rodeen las paredes de la caja de paso, por lo menos dos (2) por cada marco, y lleguen a una profundidad de treinta centímetros (30 cm) para ser ancladas, es decir, anclar el marco a la tercera hilada de ladrillos de la caja de paso.

Esta propuesta mejoraría la seguridad de los marcos así como de la red semafórica, evitando el hurto de cables del sistema en general

- *Causa: hurto o avería de tapas*

Se propone implementar un cierre diferente para las cajas de paso, así como lo manejan varias empresas de servicios públicos; puede tratarse de un cierre con llave de diferente forma o un cierre por electroimán; con esto bajaría el índice de hurtos y se podría equipar a cada uno de los grupos autorizados a intervenir el sistema con una de estas llaves.



**Figura 3.** Prototipo marco.

- *Causa: obstrucción de tuberías*

Se recomienda generar un cierre hermético con un material manejable y moldeable después del mantenimiento o instalación. El material puede ser una espuma expansiva, compuesta a base de poliuretano y adaptable a cualquier orificio y fácil de remover, la cual se aplica por medio de aerosol.

***Propuesta de solución a problemas encontrados en mantenimiento preventivo y correctivo de computadores de tráfico y sus periféricos, equipos de control de tráfico local y conexión de módulos evaluadores de tráfico del sistema de semaforización de Bogotá D.C.***

Como se referencia en la descripción de las fallas de equipos, estas obedecen a daños en los módulos que componen los equipos de control de tráfico local y como resultado afecta el servicio de semaforización a la ciudadanía, ya sea presentando intermitencia en los amarillos de la intersección (cuando la seguridad de señales del equipo se activa) o simplemente apagando toda la intersección. Tales fallas obedecen a dos razones principalmente: los módulos cumplen el ciclo de vida útil y las descargas eléctricas en cercanías al equipo de control. Como recomendaciones se plantea lo siguiente:

**Recomendaciones para el sistema de control de la semaforización**

La solución evidente para el sistema de la ciudad es una modernización de las centrales de semaforización (instalar una sola nueva central de semaforización para toda la ciudad) y cambiar los equipos de control de tráfico local, que son de tecnologías antiguas. Teniendo en cuenta casos de éxito como la semaforización de Madrid en España o de Berlín en Alemania [11], [12] entre otras ciudades, y siendo Bogotá D.C. una ciudad de cerca de siete millones de habitantes, que apunta a la vanguardia, tanto en Latinoamérica como en el mundo, se

debe contar con técnicas de control contemporáneas para el manejo del tráfico, con las cuales las centrales actuales no cuentan. Hoy en día, el avance vertiginoso y posterior a la adquisición de las centrales con que cuenta la ciudad de Bogotá, en tecnologías de la información y las comunicaciones y los sistemas de control, brinda servicios que permitirían a la ciudad un mejor monitoreo, ajuste de planeamiento en tiempo real, medición de variables de tráfico, seguridad y menor inversión, tanto en tiempo, recurso humano como capital para el mantenimiento.

También se debe tener en cuenta, que una modernización brinda la oportunidad para adquirir una central que no obligue a la ciudad a comprar equipos de control de tráfico local, equipos de video-detección, repuestos, entre otros suministros necesarios a una sola empresa, sino que en el mediano y el largo plazo la ciudad, a diferencia de las últimas décadas, tenga la opción de obtener suministros, equipos y mantenimiento de diferentes proveedores.

Vale la pena aclarar que los avances mencionados incluyen la posibilidad de conectar equipos de diferentes fabricantes a un computador de tráfico de una marca específica [11]. A continuación se referencian algunas de las ventajas y soluciones que para este grupo de trabajo brindaría la modernización de las centrales.

*Reprogramaciones*

En la actualidad esta actividad representa el 12.12% de labores correctivas en el contrato de mantenimiento (de acuerdo a los datos tomados desde junio de 2014 hasta enero de 2015). Las nuevas centrales permiten realizar reprogramaciones desde la misma central de semaforización (lo que elimina el desplazamiento, la mano de obra calificada en terreno y las demoras en los cambios), e inclusive sin necesidad de intermediación por parte de un operador humano (también se disminuye

el riesgo de falla por errores humanos), ya que se cuenta con la opción del control de tipo adaptativo [13], que de acuerdo a las condiciones de tráfico, tomado por cámaras y sensores instalados en terreno, realiza los planes de señales y calcula los tiempos de las luces de tráfico adecuados para controlar las intersecciones.

Las nuevas centrales también cuentan con control por tiempos fijos (la modalidad actual que se utiliza para controlar las intersecciones y que se refiere a planes de señales elaborados por profesionales en el tema) y control responsivo (se refiere a un tipo de control que cambia automáticamente entre planes de señales preestablecidos por profesionales en el tema, de acuerdo a condiciones detectadas en terreno).

#### *Control en tiempo real*

Se recomienda instalar en terreno detectores virtuales de tráfico (se refiere a cámaras, que en conjunto con aplicaciones de software detectan las condiciones de tráfico en las vías), [14] que en conjunto con equipos de control y central de tráfico con nuevas tecnologías, permiten que las condiciones de tráfico sean medidas en tiempo real y se puedan tomar medidas, en términos del plan de señales que más se adapten a las condiciones en terreno. Respecto a los detectores de efecto inductivo que están instalados en algunas intersecciones actualmente, los detectores virtuales son de fácil mantenimiento, se pueden reconfigurar fácilmente para cambios en las vías y no son invasivos con las vías en sí.

#### ***Propuesta de solución a problemas encontrados en mantenimiento integral (preventivo y correctivo) de la red de interconexión telefónica del sistema de semaforización de Bogotá D.C.***

Las acciones preventivas-correctivas deben dirigirse primero a hurtos y luego a averías. El propósito de las acciones recomendadas (para tener

en cuenta en la implementación y evaluación) es reducir las clasificaciones en el siguiente orden: severidad, ocurrencia y detección.

Asimismo, la interventoría realizó el seguimiento a la siniestralidad del sistema y sugirió al contratista la mejora en las condiciones de seguridad de las tapas de las cajas y las cámaras de paso.

Después de haberse presentado diferentes casos de hurto de cable de 1200 pares ramificado, se han instalado tapas metálicas sencillas y doble en diferentes puntos de la ciudad, como se observa en la siguiente dirección.



**Figura 4.** Imagen tomada en la Carrera 19B x Calle 28.

Una vez implementada la solución cesó el hurto contra el cable de mil doscientos (1200) pares de la red 1-2 que cruza por el corredor relacionado, validando así la efectividad de las mejoras implementadas.

Luego de evaluar los resultados obtenidos, una vez mejoradas las condiciones de seguridad en los sitios presentados en el presente documento, se sugiere a la SDM la evaluación de la instalación de tapas metálicas de bandeja en los circuitos de las intersecciones localizadas en la carrera 24, la carrera 27, la calle 6 y la avenida caracas, entre otros lugares afectados por el corte de cable eléctrico y de interconexión.

**Propuesta de solución a problemas encontrados mantenimiento eléctrico de la red de semaforización de Bogotá D.C.**

En esta propuesta veremos las posibles soluciones a las fallas más reiterativas y significativas, encontradas en el mantenimiento eléctrico que afectan el correcto funcionamiento de las intersecciones semaforizadas, causando traumatismo en la movilidad de la ciudad.

*Solución al problema: fallas eléctricas y de acometida*

*Recomendaciones para la solución de problemas presentados en el sistema actual*

Para el caso del presente documento las afectaciones en la calidad de energía se clasifican en los aspectos que se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 5.** Perturbaciones. Fuente: Adaptación fr NTC5001 e IEEE 1159.

<b>Perturbaciones</b>	<b>Tipo</b>
Desbalance de voltaje	Falla de estado estable del 0.5% al 2%
Distorsión de la forma de onda (de estado estable)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DC offset</li> <li>• Armónicos</li> <li>• Interarmónicos</li> <li>• Notching</li> <li>• Ruido</li> </ul>
Fluctuaciones de voltaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla intermitente menor a 25Hz</li> </ul>
Fluctuaciones de frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De duración menor a 10 segundos</li> </ul>
Larga duración (mayor a 1 minuto)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupción sostenida</li> <li>• Bajo voltaje</li> <li>• Sobre voltaje</li> </ul>
Lentas (corta duración)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instantáneas (0,5 ciclos a 30 ciclos)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– SAG (bajo voltaje momentáneo)</li> <li>– SWELL (alto voltaje momentáneo)</li> </ul> </li> <li>• Momentáneas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– SAG (30 ciclos a 3 segundos)</li> <li>– SWELL (30 ciclos a 3 segundos)</li> <li>– Interrupción (0.5 ciclos a 3 segundos)</li> </ul> </li> <li>• Temporales                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– SAG (3 segundos a 1 minuto)</li> <li>– SWELL (3 segundos a 1 minuto)</li> <li>– Interrupción (3 segundos a 1 minuto)</li> </ul> </li> </ul>
Rápidas (transientes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impulsivas                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nanosegundos</li> <li>– Microsegundos</li> <li>– Milisegundos</li> </ul> </li> <li>• Oscilatorias                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Baja frecuencia (&lt;5kHz)</li> <li>– Media frecuencia (5kHz a 500kHz)</li> <li>– Alta frecuencia (0,5MHz a 5MHz)</li> </ul> </li> </ul>

En el caso de la semaforización de Bogotá D.C., las fallas y afectaciones en la calidad de energía son responsabilidad del prestador del servicio de energía eléctrica. Particularmente las fallas de larga duración y las fluctuaciones de voltaje afectan en gran medida los equipos de control de tráfico local, debido a que estos necesitan alimentación eléctrica y un nivel de 120 VAC para su correcto funcionamiento.

En primera medida se recomienda que se realice un estudio de calidad de energía y un seguimiento permanente a las diferentes acometidas distribuidas en la ciudad, para exigirle al proveedor del servicio eléctrico los estándares mínimos de calidad contemplados en el marco regulatorio colombiano (marco regulatorio de la calidad en los Sistemas de Transmisión Regional y de Distribución Local, que se encuentra contenido en la Resolución CREG 070 de 1998 -Código de Distribución-, que ha sido modificada y complementada mediante las Resoluciones CREG 025 y 089 de 1999, 096 de 2000, 159 de 2001, 084 de 2002 y 113 de 2003). De la misma forma, realizar los descuentos pertinentes en el pago del servicio, contemplados en la ley, y que hoy en día son obviados por falta de información concreta de la calidad del servicio prestado por parte de la empresa que suministra la energía eléctrica.

Sin embargo, aunque los problemas de suministro eléctrico y calidad de energía son ajenos a la SDM y a los contratistas de mantenimiento de semaforización, se pueden mitigar las afectaciones en el servicio de semaforización hacia la ciudadanía, instalando diferentes sistemas de protección y suministro de potencia, de acuerdo con la naturaleza de las distintas fallas.

#### *Recomendaciones para mitigar las fallas eléctricas de larga duración*

Actualmente, las fallas de energía de larga duración en los computadores de tráfico se solventan a través

del sistema de UPS, filtros, fuentes y reguladores con que cuenta cada central de semaforización. Sin embargo, debido a la antigüedad de los computadores, los repuestos son difíciles de conseguir y muy costosos respecto a sistemas con tecnologías recientes. También son sistemas con dimensiones físicas amplias y de mantenimiento complejo (de acuerdo con las recomendaciones consignadas en los informes del contratista de mantenimiento de equipos). Al respecto se recomienda la adquisición de nuevas centrales, que son de un mantenimiento más económico y sencillo; requieren menor refrigeración, además ocupan espacios más reducidos y consumen menos potencia eléctrica, lo que implica sistemas de protección más simples.

Por otro lado, los equipos de control de tráfico local, que se encuentran distribuidos por toda la ciudad, son más susceptibles a las fallas eléctricas de larga duración. Se recomienda que para cada equipo de control se instalen sistemas de UPS, con su correspondiente banco de baterías, que puedan brindar un soporte superior a una hora de autonomía. Dichos sistemas pueden brindar a la ciudadanía prestación ininterrumpida del servicio de semaforización, independiente de la calidad de energía en términos de fallas de larga duración. Además, reduce en gran medida los problemas asociados a las perturbaciones de voltaje y frecuencia [15].

#### *Recomendaciones para mitigar las fallas eléctricas de corta duración*

En el caso de los computadores de tráfico local, los reguladores y UPS de las centrales mitigan las fallas eléctricas de corta duración. En el caso de los equipos de control de tráfico local, aunque poseen filtros y fuentes que en cierta medida corrigen los inconvenientes, la recomendación técnica [16] es adquirir equipos con reguladores de voltaje (los equipos más actualizados los poseen) o instalar reguladores en los equipos que presenten este tipo de fallas.



### *Recomendaciones para mitigar las fallas eléctricas transientes*

Tanto en los computadores de tráfico, como en los equipos de control de tráfico local, las fallas por causa de transientes afecta en gran medida la prestación del servicio de semaforización.

En los computadores de tráfico estas fallas son inducidas al sistema, tanto en las acometidas eléctricas como en los cables de interconexión que conectan dichos computadores con los equipos que controlan cada una de las intersecciones. Para este caso, la recomendación es instalar supresores de picos [17] [16] preferiblemente conformado por varistores cerámicos o de estado sólido (por lo general elaborados en óxido de zinc), que tienen una respuesta más rápida al transiente y mayor resistencia a las variaciones térmicas. [18], [19].

Se recomienda instalar los supresores, tanto en la acometida de cada uno de los equipos de control de tráfico local, como en los cables de interconexión que conectan a cada equipo con los computadores de tráfico (si se reemplaza el par de cobre por fibra óptica, se mitigaría este problema por cuenta de las inducciones en el cable de interconexión). También se recomienda conectar supresores en cada una de las centrales de tráfico en sus tableros de distribución.

### *Solución a los problemas de: bombillerías en mal estado, contactos eléctricos en mal estado*

Para tener un sistema de semaforización eficiente es preciso invertir recursos para mejorar notablemente la tecnología aplicada. En la mayoría de las 1238 intersecciones semafóricas de la ciudad de Bogotá D.C. se tienen instalados semáforos que utilizan bombillas halógenas.

Se aconseja que en la totalidad de las intersecciones semaforizadas de Bogotá D.C. sean instalados semáforos LED [20].

Al implementar esta tecnología se obtienen beneficios como los que se presentan a continuación:

- Se reduciría notablemente la recurrencia de estos orígenes de orden de servicio, ya que estos semáforos tienen una vida útil de diez 10 años o entre cuarenta mil 40000 a cincuenta mil 50000 horas de vida útil, lo que reduce la cantidad de mantenimientos preventivos a este tipo de tecnología.
- No tienen es su composición filamentos, lo que reduce que se dañe por fenómenos mecánicos.
- Por su composición consume menos energía que una bombilla halógena y disipa menos calor y evita que haya mayores pérdidas de energía, por lo tanto se presentan bajos consumos de energía
- Los módulos LED de los semáforos traen su propia fuente, lo que evita que se instalen otros elementos como reflectores, conectores o los transformadores; de esta manera se reduce la posibilidad de que se dañen más elementos del semáforo, a menos de que el módulo se dañe por problemas de su fuente el daño, en ese módulo es secuencial, lo que le da tiempo al operario de reemplazarlo sin que el usuario note gran cambio en la señalización.
- Ofrecen excelente luminosidad. Al respecto, se han desarrollado unos módulos LED especiales que favorecen el desplazamiento de personas con discapacidad visual, quienes históricamente no han sido tenidos en cuenta y han estado desprotegidos para hacer con normalidad sus desplazamientos por las ciudades.
- Larga vida útil.
- Mantenimiento prácticamente nulo.
- Amigables con el medio ambiente.

En el mercado se encuentra una solución que incluye dichas características, incorporan un aviso acústico integrado en una óptica de luces LED en el propio semáforo, la cual emite una señal acústica vía Bluetooth al terminal del usuario para que se detenga o avance, asegurando que los peatones

puedan hacer el cruce con seguridad, Estos semáforos se conocen como PASBLUE [21].

En la búsqueda de soluciones a futuro, se ha encontrado una solución que es posible analizar pensando en el futuro de las fuentes de energía que tenemos limitadas cada vez más: semáforos con *energía solar*.

## REFERENCIAS

- [1] J. Pozueta, M. Porto, A. Gurovich, M. Pavez y F. Ferrando. *Alternativas al modelo dominante de ciudad dispersa, zonificada y de baja densidad: el caso de los corredores fluviales y la interfaz urbana rural de Madrid y Santiago de Chile*, Madrid: AECl, 2008.
- [2] M. A. Dombriz. "Urbanismo y movilidad: dos caras de la misma moneda, Ingeniería y Territorio", *Ingeniería y territorio*, 86, 4-9, 2009 [en línea]. Consultado el, disponible en: [http://www.ciccp.es/revistaIT/textos/articulo\\_frm.sp?id=498](http://www.ciccp.es/revistaIT/textos/articulo_frm.sp?id=498)
- [3] R. Montezuma. "Alternativas en la movilidad urbana". *Perspectiva*, 15, 67-69, 2007 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.revistaperspectiva.com/archivos/revista/No%2015/montezuma.pdf>
- [4] R. Fernández. "Ciudades al borde del colapso. Nota sobre la insoportable insostenibilidad urbana", *Perspectivas Urbanas*, 6, 1-9, 2005 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/Perspectivas/article/view/85012>.
- [5] D. Escobar. "Instrumento y metodología de planes de movilidad y transporte en las ciudades medias Colombianas". PhD Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2008.
- [6] R. Gakenheimer. "Los problemas de la movilidad en el mundo en desarrollo", *Eure*, 24, 1998 [en línea]. Consultado el, disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_art-text&pid=S0250-71611998007200002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_art-text&pid=S0250-71611998007200002)
- [7] Comisión de las comunidades europeas, *Libro Verde. Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana*, Bruselas: Public consultation in preparation for the Green Paper on urban mobility SEC, 2007.
- [8] C. Flórez. "El actual modelo de transporte de Bogotá es equivocado", *Revista Javeriana: El Pensamiento Cristiano En Diálogo Con El Mundo. Medio Ambiente Universal Y Desarrollo Sostenible*, 779, 19 – 18, 2011 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://pujportal.javeriana.edu.co/portal/.../portal/.../ARTICULO%20MOVILIDAD>
- [9] S. Jiménez. "Transporte urbano sostenible: medidas desde la administración y transporte público como alternativa en Bogotá D.C". *Perspectiva Geográfica*, 1(13), 79- 104, 2008 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/perspectiva/article/view/1713>
- [10] Alcaldía Mayor de Bogotá. *El Plan Maestro de Movilidad*, 2006 [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.movilidadbogota.gov.co/?sec=170>
- [11] M. Dannehl. *The Trans-European Networks programme as encouragement of Public Private partnerships in Europe and vice versa*. Berlin: Grin Verlag, 2007.
- [12] M. Hermenegildo y G. Puebla. *9th International Symposium, Proceedings*, Volumen 9. Madrid, España: Springer, 2002.
- [13] A. Bouchachia. "Second International Conference", *ICAIS, Proceedings, Klagenfurt*, Austria: Springer, 2011.
- [14] G. Roth. *Street Smart: Competition, Entrepreneurship, And the Future of Roads*. New York: Transaction Publishers, 2006.
- [15] A. Moreno. *Power Quality*. Córdoba, España: Springer Link, 2007.
- [16] Ministerio de Minas y Energía. *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE*. Bogotá D.C.: MME, 2004.
- [17] A. Rash. "Harmonics-what are they, how to measure them and how to solve the problem (in connection with standards IEEE 1159-1995 and IEEE 519-1992)". *Electrical and Electronics*

- Engineers in Israel*, 19, 83-86, 1996 [en línea]. Consultado el, disponible en: [ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber...](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber...)
- [18] P.Chowdhuri. *Electromagnetic Transients in Power Systems*. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [19] M. Peiteado. *Varistores cerámicos basados en óxido de cinc*. Madrid, España: Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio, 2005.
- [20]. ¿Qué es un LED?. *Tecnología y educación*. Bogotá D.C., 2012. [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.tecnologiayeducacion.com/%C2%BFque-es-luz-led/#sthash.FL-QWd5Og.dpuf>.
- [21] El proyecto PASBLUE de Vía Libre recibe el Premio Vodafone a la Innovación en Telecomunicaciones. Madrid: *Fundación ONCE*, 2013. [en línea]. Consultado el, disponible en: <http://www.fundaciononce.es/es/noticia/el-proyecto-pasblue-de-libre-recibe-el-premio-vodafone-la-innovacion-en-telecomunicaciones>

