

- 2 Editorial**  
Jorge Enrique Salamanca
- 3 Análisis de datos mediante el algoritmo de clasificación j48, sobre un cluster en la nube de AWS**  
Carlos Hernán Cardona Taborda  
Nancy Gelvez García  
Jairo Jamith Palacios Roza
- 16 Análisis de idoneidad del suelo para construcción de colegios públicos integrando SIG y PAJ en el área urbana de Bogotá**  
Hector Ricardo Patiño Rivera  
Adriana Lorena León Gallo  
Miguel Antonio Ávila Angulo
- 25 Alternativas de solución al envenenamiento del Protocolo ARP en entornos LAN**  
Oscar Leonardo Cely Granados  
Octavio José Salcedo Parra  
Jorge E. Salamanca Céspedes
- 32 Medición de la Capacidad de planta de una empresa fabricante de Equipos Electrónicos de Potencia**  
Pablo Emilio Roza García  
Johann Hernández  
Diana Ovalle
- 44 Ruido en un canal de comunicaciones a través de líneas eléctricas de potencia -PLC -**  
Pablo Emilio Roza García  
Johann Hernandez  
Sandro Bolaños
- 55 Clasificación de una imagen satelital empleando máquinas de soporte vectorial para cuantificar el área de pinus patula en una plantación**  
Orlando Riaño Melo  
Carlos Daniel Acosta Medina  
Robert Orlando Leal Pulido
- 62 Evaluación del impacto de la generación distribuida sobre el perfil de tensión en redes de distribución**  
Gustavo Luna Russi  
Ricardo Alfonso Gómez Suárez  
Edwin Rivas Trujillo
- 69 Guía de pruebas y protocolos para el lanzamiento del satélite Colombia I**  
Heber Fabián Rodríguez Romero  
Lilía Edith Aparicio Pico
- 75 Las infraestructuras de datos espaciales como apoyo al desarrollo de la ciudad inteligente**  
Sandra Yanet Velazco  
Alexandra Abuchar Porras  
Gabriel Andres Alzate
- 85 Sistemas Integrados de Transporte soportados en el Internet de las Cosas**  
Sandra Yanet Velazco Flórez  
Roberto Ferro Escobar  
Katherin Cuartas
- 98 Implementación de un dispositivo basado en Bluetooth y RFID para guía y posicionamiento en interiores de personas con incapacidad visual usando una APP en su dispositivo móvil**  
Arnaldo Andrés González Gómez  
Luis Eduardo Pallares M.  
Roberto Ferro Escobar
- 108 Simulation of Third Generation Flexible Optical Networks with Net2plan**  
Diego Fernando Aguirre Moreno  
Octavio Jose Salcedo Parra  
Jorge Enrique Salamanca Céspedes
- 120 Propuesta de un protocolo de comunicaciones Manet entre robots móviles usando teoría de nodos**  
Roberto Ferro Escobar  
Andrés Rodríguez Fonseca  
Ricardo González
- 127 El territorio desde la mirada interdisciplinaria de un ingeniero profesional de las ciencias de la tierra**  
Edier Hernán Bustos Velazco  
Adela Molina Andrade  
Horacio Bozzano
- 134 Propuesta de Implementación del Sistema de Orientación para un Picosatélite en órbita**  
Paola Andrea Ortiz García  
Sergio Esteban Muñoz Carmona  
Miguel Antonio Ávila Angulo
- 139 La ciencia del diseño para un metamodelo de regulación de agua potable y saneamiento básico**  
M.Sc. Jose Andelfo Lizcano Caro  
PhD. Sandro Javier Bolaños  
PhD. Rubén Javier Medina Daza



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

# EDITORIAL

## Producción académica y desarrollo de la Universidad Pública

Ante una reciente publicación de los medios, la cual viene de un directivo académico de una prestigiosa universidad pública, viene a la memoria lo planteado por Reimers en cuanto a la antigua lucha entre el pensamiento conservador y el progresista planteados históricamente como visiones de una educación para los países latinoamericanos.

La educación es la vía para que los países subdesarrollados se dirijan hacia el desarrollo económico y social, la producción académica de los docentes antes de ser ultrajada en un medio, debería ser reconocida y valorada ya que los filtros que el mismo estado y la academia han impuesto son lo suficientemente fuertes para garantizar publicaciones de calidad, antes que enjuiciar la producción de los docentes, habría que enjuiciar las políticas estatales y a las directivas de las universidades públicas incapaces de establecer un diálogo correcto hacia la búsqueda de recursos suficientes para la educación pública, acaso ¿un senador de la república que no es comparable ni en estudios ni en producción si se merece un pago tan alto por parte del estado?, acaso los docentes ¿estamos destinados a impartir educación de calidad y ser permanentemente evaluados y a cambio recibir la crítica malintencionada por generar lo que es natural de nuestro producto como docentes e investigadores?, lo más indignante es que desde el interior de nuestra universidad pública se generen apreciaciones tan poco fundamentadas, lo cual me hace recordar el camino recorrido por el inspirador Michael Faraday, y su adverso encuentro con la sociedad académica del momento.

Como un reconocimiento al esfuerzo de nuestros docentes y estudiantes, quienes se encuentran realizando investigación en condiciones de gran desventaja y abandono estatal, el equipo editorial de la revista Redes de ingeniería de la Facultad de Ingeniería, ha decidido sacar este volumen especial ofreciendo a nuestra comunidad un espacio de divulgación que difícilmente se podría en normales circunstancias, es de anotar que este esfuerzo es gracias al apoyo irrestricto de nuestro Decano el Dr. Roberto Ferro E.

**Jorge Enrique Salamanca**

# Análisis de datos mediante el algoritmo de clasificación J48, sobre un cluster en la nube de AWS

## Data Analysis through the J48 classification algorithm, on AWS Cloud Cluster

Carlos Hernán Cardona Taborda<sup>1</sup>  
Nancy Gelvez García<sup>2</sup>  
Jairo Jamith Palacios Rozo<sup>3</sup>

### Resumen

El siguiente artículo presenta la implementación del algoritmo J48 con el software libre Weka 3.8.0 ejecutado desde un clúster en la nube de AWS, el cual fue desarrollado con Starcluster 0.91. Este sistema es utilizado sobre una base de datos que contiene información de clasificación de vidrios a través del algoritmo, junto con datos de entrenamiento y validación cruzada, se logra crear un árbol de clasificación que permitirá predecir a qué clase de material pertenece el vidrio ingresado.

Palabras clave: análisis de datos, AWS, clúster, programación en la nube, J48, validación cruzada.

### Abstract

The following article shows the J48 algorithm implementation using the open source software Weka 3.8.0 running from an AWS cloud cluster, which was developed on Starcluster 0.91. This system is used on a database that contains glass classification information through the algorithm. With training data and cross validation it is created a classification tree that allows predicting to which material the inserted glass belongs.

**Keywords:** AWS, cloud computing, cluster, cross validation, data analysis, J48.



<sup>1</sup> carlos.cardona@exsis.com.co  
<sup>2</sup> nygelvezg@udistrital.edu.co  
<sup>3</sup> jjpalacios@unicolmayor.edu.co

## Introducción

Uno de las tecnologías de más acogida los últimos años es la programación en la nube, la cual permite desarrollar tareas que eran imposibles hace 10 años, las empresas que utilizan programación en la nube le pagan a un proveedor de estos servicios como Amazon Web Service (AWS), para evitar los gastos de infraestructura, planeación y seguridad, esta les permite ejecutar sus servicios con una plataforma escalable que les da toda la capacidad que necesiten, es decir, se le cobra a las organizaciones por la capacidad de procesamiento que estas consuman.

Es una gran ventaja utilizar computación en la nube ya que la capacidad de procesamiento de estos servidores es casi ilimitada, estos proveedores soportan tecnologías como Netflix, que provee streaming de video a millones de personas alrededor del mundo con muy buena calidad todos los días de la semana a cualquier hora.

Las pequeñas empresas también empiezan a utilizar computación en la nube debido a la escalabilidad de los servicios, lo que se traduce como gastos a medida de sus necesidades y muchos menos gastos que si decidieran montar una infraestructura propia, hasta en el mismo costo de los computadores que solo deben tener una conexión banda ancha a internet que les permita utilizar los servicios, no deben tener gran capacidad de procesamiento como 10 años atrás.

Big data es un tema muy ligado a la programación en la nube, esta se refiere al almacenamiento y utilización las técnicas (algoritmos) que permiten analizar grandes cantidades de datos para solucionar problemas, se puede analizar desde lo que escriben las personas en las redes sociales hasta toma de muestras de aire para establecer la contaminación en un área y de que está compuesta.

Big data utiliza una serie de recursos para desarrollar sus análisis entre estos se encuentra:

**Generados por usuarios:** Son los datos generados a través de las redes sociales y otros portales públicos del internet.

**Transacciones de datos:** Estos se generan gracias a facturación, llamadas, o transacciones entre cuentas.

**E-marketing:** Generados a través de la navegación en la red que permite generar mapas de calor en las publicaciones o páginas que son más concurridas.

**Machine to machine (M2M):** Es la comunicación entre dispositivos como sensores de temperatura, luz, altura, presión, sonido y otros.

**Biométrica:** Estos datos provienen de las agencias de seguridad, salud y otras entidades gubernamentales del mundo.

En este artículo se reporta un caso que combina Big Data con programación en la nube utilizando los servicios de AWS, en un clúster que ejecuta Weka en una base de datos para establecer parámetros de rendimiento de estudiantes.

Utilizando una base de datos existente con registros de varios tipos de vidrio se desea establecer el tipo exacto de material teniendo en cuenta 7 tipos de vidrios de distintas fuentes de un vidrio. Se ingresa en el sistema, para esto se tienen en cuenta distintos factores que permiten discriminar el objeto por la composición química y la fuente de dicho objeto, así como se ve en la Tabla 1, propiedad de la UCI [15]. Dichos factores son:

[15] Tabla 1. Factores de medición

#	Nombre	Descripción
1	ID	Número de 1 a 124
2	RI	Índice de refracción
3	Na	Porcentaje de Sodio por mm
4	Mg	Porcentaje de magnesio por mm
5	Al	Porcentaje de Aluminio por mm
6	Si	Porcentaje de magnesio por mm
7	K	Porcentaje de magnesio por mm
8	Ca	Porcentaje de magnesio por mm
9	Ba	Porcentaje de magnesio por mm
10	Fe	Porcentaje de magnesio por mm
11		Tipo de vidrio (atributo de clase)
11.1		Ventanas de construcción procesadas
11.2		Ventanas de construcción sin procesar
11.3		Ventanas de vehículo procesadas
11.4		Ventanas de vehículos sin procesar
11.5		Conteiner
11.6		Vajilla
11.7		Bombillos

Para contextualizar este artículo, es necesario definir los siguientes conceptos:

## Clúster

Un cúmulo, granja o clúster de computadoras, se puede definir como un sistema de procesamiento paralelo o distribuido. Consta de un conjunto de computadoras independientes, interconectadas entre sí, de tal manera que funcionan como un solo recurso computacional, según Hernández, Santillán y Caballero [16]. A cada uno de los elementos del

clúster se le conoce como nodo. Estos son aparatos o torres que pueden tener uno o varios procesadores, memoria RAM, interfaces de red, dispositivos de entrada y salida, y sistema operativo. Los nodos pueden estar contenidos e interconectados en un solo gabinete, o, como en muchos casos, acoplados a través de una red de área local LAN (Local Area Network). Otro componente básico en un clúster es la interfaz de la red, la cual es responsable de transmitir y recibir los paquetes de datos, que viajan a través de la red entre los nodos. Finalmente el lograr que todos estos elementos funcionen como un solo sistema, es la meta a la que se quiere llegar para dar origen a un clúster, según Hernández [4].

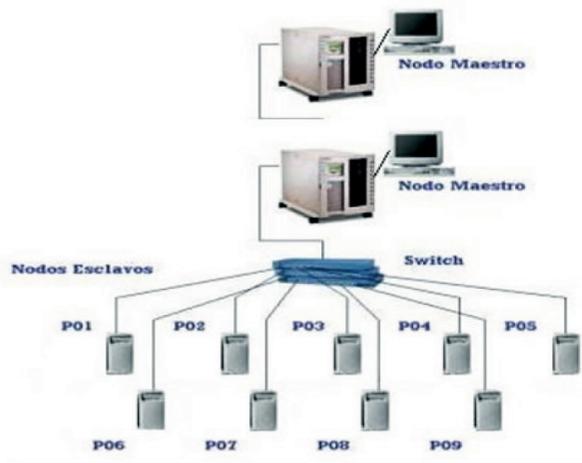


Figura 1. Esquema general de un cluster. En la figura podemos ver la distribución de las partes principales de un cúmulo de computadoras: nodo maestro, nodos esclavos, un switch y una red.

[16] Imagen 1. Esquema general de un clúster

## Minería de datos

En los últimos años se han acumulado enormes cantidades de datos en todas las organizaciones, y esta tendencia continúa a un ritmo acelerado.

Esto es posible por el amplio uso de los sistemas computarizados, nuevas técnicas de captura de datos, el empleo de códigos de barra, los lectores de caracteres ópticos, las tarjetas magnéticas, entre otros, y por el avance en la tecnología de almacenamiento y su consiguiente reducción de costos. La disponibilidad de esos datos es un importante activo para cualquier organización, en la medida en que puedan ser transformados en información de interés, utilizando técnicas y métodos de Data Mining.

Data Mining, también referenciado como Descubrimiento del Conocimiento en Bases de Datos (Knowledge Discovery in Databases o KDD), ha sido definida como el proceso de extracción no trivial de

información implícita, previamente desconocida y potencialmente útil.

El crecimiento explosivo de las bases de datos, de Internet y el empleo de técnicas y herramientas (que en forma automática y eficiente, generan información a partir de los datos almacenados), permiten descubrir patrones, relaciones y formular modelos. En particular, estas técnicas han adquirido enorme importancia en áreas tales como estrategias de marketing, soporte de decisiones, planeamiento financiero, análisis de datos científicos, bioinformática, análisis de textos y de datos de la web.

Data Mining incluye áreas del conocimiento tales como Estadística, Inteligencia Artificial (Machine Learning) y Bases de Datos. Se estima que del análisis de esos datos pueden surgir ventajas competitivas o novedosas soluciones a antiguos problemas. Data Mining y Knowledge Discovery es un área de gran actividad a nivel académico, como lo demuestran el gran número de eventos científicos relacionados, como así también laborales, acorde a la UBA [5].

## Algoritmo J48

El algoritmo J48 implementado en Weka es una versión del clásico algoritmo de árboles de decisión C4.5 propuesto por Quilan. Los árboles de decisión entran dentro de los métodos de clasificación supervisada, es decir, se tiene una variable dependiente o clase, y el objetivo del clasificador es determinar el valor de dicha clase para casos nuevos. El proceso de construcción del árbol comienza por el nodo raíz, el que tiene asociados todos los ejemplos o casos de entrenamiento. Lo primero es seleccionar la variable o atributo a partir de la cual se va a dividir la muestra de entrenamiento original (nodo raíz), buscando que en los subconjuntos generados haya una mínima variabilidad respecto a la clase. Este proceso es recursivo, es decir, una vez que se haya determinado la variable con la que se obtiene la mayor homogeneidad respecto a la clase en los nodos hijos, se vuelve a realizar el análisis para cada uno de los nodos hijos. Aunque en el límite este proceso se detendría cuando todos los nodos hojas contuvieran casos de una misma clase, no siempre se desea llegar a este extremo, para lo cual se implementan métodos de pre-poda y post-poda de los árboles.

El algoritmo J48 amplía las funcionalidades del C4.5, tales como permitir la realización del proceso

de post-poda del árbol mediante un método basado en la reducción del error (`reducedErrorPruning`) o que las divisiones sobre las variables discretas sean siempre binarias (`binarySplits`), de acuerdo a Rivera, Rosete y Rodríguez [6].

### Validación cruzada

La validación cruzada es una herramienta estándar de análisis que resulta muy útil a la hora de desarrollar y ajustar los modelos de minería de datos. La validación cruzada se usa después de crear una estructura de minería de datos y los modelos de minería de datos relacionados para determinar la validez del modelo. La validación cruzada tiene las siguientes aplicaciones:

- Validar la solidez de un modelo de minería de datos determinado.
- Evaluar varios modelos de una instrucción única.
- Generar varios modelos e identificar a continuación el mejor modelo basándose en estadísticas.
- En esta sección se describe cómo usar las características de validación cruzada proporcionadas para la minería de datos y cómo interpretar sus resultados para un único modelo o para varios basados en un único conjunto de datos, de acuerdo a Microsoft [7].

Se dividen las instancias en tantas carpetas como indica el parámetro `fold`s, y encada evaluación se toman las instancias de cada carpeta como datos de prueba, el resto como datos de entrenamiento para construir el modelo. Los errores calculados serán el promedio de todas las ejecuciones, según García y Álvarez [8].

Dentro de los antecedentes, encontramos que con la promesa en la demanda de recursos de cálculo/almacenamiento, muchos usuarios están desplegando aplicaciones científicas intensivas de datos en la nube. Para acelerar estas aplicaciones, la posibilidad de almacenar en caché los datos intermedios mediante el cálculo elástico y el marco de almacenamiento ha demostrado ser prometedor.

Con este fin, se cree que un estudio en profundidad de las decisiones de ubicación de caché a través de varias opciones de almacenamiento de la nube sería altamente beneficioso para una gran clase de usuarios. Aunque se han propuesto análisis tangenciales, la nuestra por el contrario se centra

en soluciones de compromiso coste-rendimiento de mantener una caché de datos con varios parámetros de cualquier aplicación en la nube. Se han comparado varios recursos de servicio Web de Amazon (AWS) como posibles ubicaciones de memoria caché y se encontró que los atributos dependientes de aplicaciones como el tamaño de unidad de datos, el tamaño total de la memoria caché, y la persistencia, influyen poderosamente en el costo de sustento caché.

Por otra parte, mientras que las memorias caché basados en instancia de esperar rendimiento más alto costo, el rendimiento que ofrecen pueden ser mayores opciones de menor costo, como dicen Chiu y Agrawal [10].

Ahora, observemos que se ha aportado desde el análisis de datos por medio de diferentes algoritmos ya establecidos:

Cloud computing data mining to SCADA for energy management

En este trabajo, se presenta la infraestructura de minería en la nube basado en SAP HANA para SCADA. Esto proporciona una decisión tomada poderosa herramienta para el operador en el centro de control de energía. Algunas de las características importantes de hardware y software de HANA están definidos. Se presenta una configuración del sistema SCADA para gestión de la energía, basada en la minería computación en la nube. También se describe la nube características y servicios de minería de datos del modelo de nube, de acuerdo a Gupta, Moinuddin y Kumar [11].

FSBD: A Framework for Scheduling of Big Data Mining in Cloud Computing

La computación en la nube es vista como una tecnología emergente para la minería de datos y análisis. La computación en nube puede proporcionar resultados de minería de datos en forma de un software como servicio (SAS). El rendimiento y la calidad de la minería son criterios fundamentales para el uso de una aplicación de minería de datos que nos brinda un entorno de computación en nube. En este trabajo, se propone un marco computacional de la nube, que se encarga de distribuir y programar una aplicación de minería de datos basados en clúster y su conjunto de datos. El objetivo principal de esta propuesta de marco para la programación de la Gran Minería de datos (FSBD) es disminuir el tiempo total de ejecución de la aplicación con la mínima

pérdida en la calidad de la minería. Se considera que la técnica de minería de datos basada en clústeres como una aplicación piloto para el marco.

Los resultados muestran un aumento de velocidad importante con una pérdida mínima de la calidad de la minería. Se obtuvo una relación de 2 de la normalizada actual makespan vis-a vis el makespan ideal. La calidad de la minería de escala bien con el número de grupos y el aumento del tamaño del conjunto de datos. Los resultados son prometedores, el fomento de la adopción del marco por los proveedores de la nube, de acuerdo a Ismail, Masud y Khan. [12].

Transplantation of Data Mining Algorithms to Cloud Computing Platform When Dealing Big Data

En este trabajo se hace una breve reseña de Computación en la nube y Big Data, se discutió la portabilidad de los algoritmos de minería de datos en general a la plataforma de computación en la nube. Se reveló que la plataforma de computación en la nube basada en Map-Reduce no puede resolver todos los problemas de grandes volúmenes de datos y minería de datos. El trasplante de los algoritmos de minería de datos generales al tiempo real plataforma de computación en la nube será una parte de la investigación se centra en computación en la nube y Big Data, según Wang y Zhao [13].

Big Data Processing in Cloud Computing Environments

Con el rápido crecimiento de las aplicaciones emergentes como el análisis social de redes, análisis Web semántica y análisis de redes de bioinformática, una variedad de datos a procesar sigue siendo testigo de un aumento rápido. La gestión eficaz y análisis de datos a gran escala supone un reto interesante pero crítico. Recientemente, los grandes datos han atraído mucha atención por parte de la academia, la industria, así como del gobierno. Este documento presenta varias técnicas de procesamiento de datos de grandes sistemas y aplicaciones aspectos. En primer lugar, desde el punto de vista de la gestión de datos de nube y los mecanismos de procesamiento de datos grandes, se presentan los temas clave de procesamiento de grandes volúmenes de datos, incluyendo la plataforma de computación en la nube, arquitectura de nube, y el esquema de base de datos de la nube de almacenamiento de datos. Siguiendo el marco de procesamiento MapReduce en paralelo, que a continuación se presentan estrategias MapReduce de optimización y aplicaciones reportadas en la

literatura. Finalmente, se discuten las cuestiones abiertas y desafíos, y se exploran profundamente las direcciones de investigación en el futuro sobre el procesamiento de grandes volúmenes de datos en entornos de computación en nube, como dicen los autores del documento Big Data Processing in Cloud Computing Environments [14].

## Método

Son necesarias las siguientes herramientas para proceder con la implementación:

### AWS EC2

Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) es un servicio web que proporciona capacidad de cómputo con tamaño modificable en la nube. Está diseñado para facilitar a los desarrolladores la programación en la nube escalable basado en web.

La sencilla interfaz de servicios web de Amazon EC2 permite obtener y configurar la capacidad con una fricción mínima. Proporciona un control completo sobre los recursos informáticos y puede ejecutarse en el entorno informático acreditado de Amazon. Amazon EC2 reduce el tiempo necesario para obtener y arrancar nuevas instancias de servidor en cuestión de minutos, lo que permite escalar rápidamente la capacidad, ya sea aumentándola o reduciéndola, según cambien sus necesidades. Amazon EC2 cambia el modelo económico de la informática, ya que solo tendrá que pagar por la capacidad que realmente utilice. Amazon EC2 proporciona a los desarrolladores las herramientas necesarias para crear aplicaciones resistentes a errores y para aislarse de los casos de error más comunes, así como se aprecia en la página oficial de Amazon [1].

El clúster fue lanzado en esta característica de AWS utilizando un nodo como master y otros dos nodos como esclavos.

### Weka (versión 3.8.0)

Weka es un software que contiene un conjunto de algoritmos de aprendizaje automático para tareas de minería de datos. Los algoritmos o bien se pueden aplicar directamente a un conjunto de datos o llamadas de su propio código Java. Weka contiene herramientas para el procesamiento previo de datos, clasificación, regresión, clustering, reglas de asociación, y la visualización. También es muy adecuado para el desarrollo de nuevos sistemas de aprendizaje de máquina.

Weka es un software de código abierto publicado bajo la Licencia Pública General de GNU, así como se observa en la pagian web de la Universidad de Waikato [2].

Se utilizó la versión más reciente de Weka, la versión 3.8.0 disponible en su página web, esta contiene el algoritmo de minería de datos J48.

### Starcluster(versión 0.91)

StarCluster es un conjunto de herramientas para implementación de clúster de código abierto para Elastic Compute Cloud (EC2) de Amazon publicado bajo la licencia LGPL.

StarCluster ha sido diseñado para automatizar y simplificar el proceso de construcción, configuración y gestión de grupos de máquinas virtuales en la nube EC2 de Amazon. StarCluster permite a cualquiera crear fácilmente un entorno de computación en la nube, adecuado para aplicaciones y sistemas informáticos distribuidos y paralelos, según el MIT [3].

Este software se utiliza para crear el clúster en las instancias de AWS, a través de un equipo local Ubuntu, se instaló la última versión disponible 0.91.

### MpichCluster

MPI (MessagePassing Interface, Interfaz de Paso de Mensajes) es un estándar que define la sintaxis y la semántica de las funciones contenidas en una biblioteca de paso de mensajes diseñada para ser usada en programas que exploten la existencia de múltiples procesadores.

MPICH se distribuye bajo una licencia BSD, Los pquetes binarios MPICH están disponibles en muchas distribuciones UNIX y para Windows. Por ejemplo, se encuentra con “yum” (en Fedora), “apto” (Debian / Ubuntu), “pkg\_add” (FreeBSD) o “puerto” / “brew” (Mac OS), según el MPI [9].

Ya con las herramientas instaladas, se procede con la implementación:

### Instalación de StarCluster

StarCluster es una recopilación de herramientas de código abierto para la computación en la nube, específicamente para ser utilizado con Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2).

StarCluster ha sido diseñado para automatizar y simplificar el proceso de creación, configuración y administración de clústers en máquinas virtuales de Amazon EC2. StarCluster permite crear fácilmente un entorno de computación para clúster en la nube. para aplicaciones y sistemas de computación paralela y distribuida.

StarCluster fue instalado en una maquina local con sistema operativo Ubuntu 14.04 LTS de 64 bits. Es necesario que dicho sistema tenga instalado el repositorio de software PyPI (Python PackageIndex), el cual permite la instalación de StarCluster.

Desde la terminal de Ubuntu se procede a instalar PyPI, como se observa en la imagen 2.

```
diego@diego-PC:~$ sudo apt-get install python-pip
[sudo] password for diego:
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following packages were automatically installed and are no longer required:
  linux-headers-3.13.0-32 linux-headers-3.13.0-32-generic
  linux-image-3.13.0-32-generic linux-image-extra-3.13.0-32-generic
Use 'apt-get autoremove' to remove them.
The following extra packages will be installed:
  python-charadet-whl python-colorama python-colorama-whl python-distlib
  python-distlib-whl python-html5lib python-html5lib-whl python-pip-whl
  python-requests-whl python-setuptools python-setuptools-whl python-six-whl
  python-urllib3-whl python-wheel
Suggested packages:
  python-genshi
Recommended packages:
  python-dev-all
The following NEW packages will be installed:
  python-colorama python-colorama-whl python-distlib
  python-distlib-whl python-html5lib python-html5lib-whl python-pip
  python-pip-whl python-requests-whl python-setuptools python-setuptools-whl
  python-six-whl python-urllib3-whl python-wheel
0 upgraded, 15 newly installed, 0 to remove and 20 not upgraded.
Need to get 1.682 kB of archives.
After this operation, 4.184 kB of additional disk space will be used.
```

Imagen 2. Instalación de PyPi. Fuente: Autores.

Cuando se complete la instalación de PyPi, se procede con la instalación de StarCluster con el comando: *sudo easy\_install StarCluster*, cuya ejecución se muestra en la imagen 3.

```
diego@diego-PC:~$ sudo easy_install starcluster
[sudo] password for diego:
Searching for StarCluster
Reading https://pypi.python.org/simple/StarCluster/
Best match: StarCluster 0.95.6
Downloading https://pypi.python.org/packages/source/S/StarCluster/StarCluster-0.95.6.tar.gz
Processing StarCluster-0.95.6.tar.gz
Writing /tmp/easy_install-kyuj1/StarCluster-0.95.6/setup.cfg
Running StarCluster-0.95.6/setup.py -q bdist_egg --dist-dir /tmp/easy_install-kyuj1/StarCluster-0.95.6
Warning: no previously-included files found matching 'requirements.txt'
Warning: no previously-included files matching '*' found under directory 'docs/sphinx_build'
Adding StarCluster 0.95.6 to easy-install.pth file
Installing starcluster script to /usr/local/bin
```

Imagen 3. Instalación de StarCluster. Fuente: Autores.

### 2. Configuración del clúster

El primer paso para configurar el clúster es crear y editar el archivo de configuración de StarCluster. Es importante utilizar las funciones en modo súper usuario de Ubuntu (comando sudo su) debido a que se necesitan utilizar ciertas funciones que no permite un usuario normal, el súper usuario y el usuario normal no tendrán ninguna relación de configuración o datos. Para crear el archivo de configuración de StarCluster se debe acceder a la ayuda a través del comando *starclusterhelp*, como se observa en la imagen 4.

```
diego@Diego-PC:~$ starcluster help
StarCluster - (http://star.mit.edu/cluster) (v. 0.95.6)
Software Tools for Academics and Researchers (STAR)
Please submit bug reports to starcluster@mit.edu

!!! ERROR - config file /home/diego/.starcluster/config does not
exist

Options:
-----
[1] Show the StarCluster config template
[2] Write config template to /home/diego/.starcluster/config
[q] Quit

Please enter your selection: █
```

Imagen 4. Comando de ayuda de StarCluster. Fuente: Autores.

Si es la primera vez que se ejecuta StarCluster aparecerá el mismo menú que el de la imagen 11, se debe seleccionar la opción 2, para que starcluster cree el archivo de configuración en su directorio (/home/user/.starcluster/config).

```
Please enter your selection: 2

>>> Config template written to /home/diego/.starcluster/config
>>> Please customize the config template
diego@Diego-PC:~$ █
```

Imagen 5. Creación del archivo de configuración de StarCluster. Fuente: Autores.

Se debe modificar el archivo de configuración de Starcluster con un editor de texto, en este caso se llevó a cabo con el editor gedit usando el comando gedit ~/.starcluster/config, como se aprecia en la imagen 6.

```
root@diego-VirtualBox: /home/diego# gedit ~/.starcluster/config
```

Imagen 6. Ingreso al archivo de configuración de StarCluster. Fuente: Autores.

Dentro del archivo lo primero que se debe configurar son los valores de las claves de accesos que se obtuvieron en el apartado anterior, como se ve en la imagen 7.

```
[aws info]
AWS_ACCESS_KEY_ID = # Your Access Key ID here
AWS_SECRET_ACCESS_KEY = # Your Secret Access Key here
AWS_USER_ID = # Your 12-digit AWS Account ID here (no hyphens)
```

Imagen 7. Especificación de los campos de las claves de acceso en el archivo de configuración. Fuente: Autores.

Se modifican los valores correspondientes a los de códigos de seguridad de la cuenta, sin espacios, la clave de acceso de usuario (AWS USER ID) es de 12 números que están separados de a cuatro por guiones que también deben ingresarse.

En este archivo también deben configurarse otras características dentro de las cuales se encuentran el número de instancias a crear, el nombre del clúster, el usuario de administración del clúster, el tamaño de cada nodo y la clave de acceso del clúster.

Los signos de # son una etiqueta de comentario, por lo que no se tendrá en cuenta lo que esta después de este símbolo, cada símbolo es válido por línea, lo que quiere decir que la línea que no lo tenga no es un comentario.

Si se desea se pueden configurar otros valores, se puede elegir la región en la que se desplegará el clúster (AWS-REGION-NAME), configuraciones del proxy y claves extras (EC2\_PRIVATE\_KEY), como se ve en la imagen 8.

```
#####
## AWS Credentials and Connection Settings ##
#####
[aws info]
# This is the AWS credentials section (required).
# These settings apply to all clusters
# replace these with your AWS keys
AWS_ACCESS_KEY_ID = AKIAJ3I[redacted]
AWS_SECRET_ACCESS_KEY = ylbfxaxALCOW[redacted]
# replace this with your account number
AWS_USER_ID = 8829-[redacted]-[redacted]
# Uncomment to specify a different Amazon AWS region (OPTIONAL)
# (defaults to us-east-1 if not specified)
# NOTE: AMIs have to be migrated!
#AWS_REGION_NAME = eu-west-1
#AWS_REGION_HOST = ec2.eu-west-1.amazonaws.com
# Uncomment these settings when creating an instance-store (S3) AMI (OPTIONAL)
#EC2_CERT = /path/to/your/cert-asdf0as9df092039asdf102089.pem
#EC2_PRIVATE_KEY = /path/to/your/pk-asdfasd890f200909.pem
# Uncomment these settings to use a proxy host when connecting to AWS
#AWS_PROXY = your.proxyhost.com
#AWS_PROXY_PORT = 8080
#AWS_PROXY_USER = yourproxyuser
#AWS_PROXY_PASS = yourproxypass
```

Imagen 8. Apartado de credenciales de seguridad en el archivo de configuración. Fuente: Autores.

La llave es un sistema de protección para acceder y modificar el clúster, posteriormente se creará dicha clave, se debe poner el nombre de la clave (keymykey, mykey es el nombre de la llave) se debe poner el directorio donde se creará dicha clave (KEY\_LOCATION, en este caso ~/.starcluster/mykey.rsa), se puede agregar el número de llaves que se desee, como en la imagen 9.

```
#####
## Defining EC2 Keypairs ##
#####
# Sections starting with "key" define your keypairs. See "starcluster createkey
# --help" for instructions on how to create a new keypair. Section name should
# match your key name e.g.:
[key mykey]
KEY_LOCATION=~/.starcluster/mykey.rsa

# You can of course have multiple keypair sections
# [key myotherkey]
# KEY_LOCATION=~/.ssh/myotherkey.rsa
```

Imagen 9. Apartado de definición de llaves en el archivo de configuración. Fuente: Autores.

En la parte de configuración del clúster se ingresa el nombre que se desee al clúster (en este caso mycluster), el nombre de la llave definida anteriormente (KEYNAME = mykey), el número de nodos del clúster (CLUSTER\_SIZE = 3), el usuario del clúster (CLUSTER\_USER=sgeadmin), la imagen de la máquina de Amazon (Amazon Machine Images, AMI), en este caso se seleccionó ami-3393a45a el cual es el estándar de imagen de starcluster de Ubuntu 13.04 de 64 bits, que será el sistema operativo que se instalará en cada uno de los nodos, finalmente, se debe configurar el tamaño de la instancia, que para

evitar costos debe ser t1.micro (NODE\_INSTANCE\_TYPE=t1.micro)

```
[cluster mycluster]
# change this to the name of one of the keypair sections defined above
KEYNAME = mykey
# number of ec2 instances to launch
CLUSTER_SIZE = 3
# create the following user on the cluster
CLUSTER_USER = sgeadmin
# optionally specify shell (defaults to bash)
# (options: tcsh, zsh, csh, bash, ksh)
CLUSTER_SHELL = bash
# Uncomment to prevent the cluster tag to the dns name of all nodes created
# using this cluster config. ie: mycluster-master and mycluster-node001
# If you choose to enable this option, it's recommended that you enable it in
# the DEFAULT_TEMPLATE so all nodes will automatically have the prefix
# DNS_PREFIX = True
# AMI to use for cluster nodes. These AMIs are for the us-east-1 region.
# Use the 'listpublic' command to list StarCluster AMIs in other regions
# The base i386 StarCluster AMI is ami-9bf9c9f2
# The base x86_64 StarCluster AMI is ami-3393a45a
# The base HVM StarCluster AMI is ami-6b211202
NODE_IMAGE_ID = ami-3393a45a
# instance type for all cluster nodes
# (options: m3.large, c3.8xlarge, i2.8xlarge, t2.micro, hs1.8xlarge, c1.xlarge,
# c3.2xlarge, m2.xlarge, m2.2xlarge, t2.small, r3.2xlarge, t1.micro, cr1.8xlarge
# i2.xlarge, m3.medium, cc2.8xlarge, m1.large, cg1.4xlarge, i2.2xlarge, c3.large,
# m2.4xlarge, m1.xlarge, m3.xlarge)
NODE_INSTANCE_TYPE = t1.micro
# Launch cluster in a VPC subnet (OPTIONAL)
```

Imagen 10. Apartado de opciones del clúster en el archivo de configuración. Fuente: Autores.

Como se explicó anteriormente la llave (keypair), sirve para darle permisos al StarCluster instalado en la maquina local para poder configurar, lanzar y editar el clúster en Amazon, es por eso que el primer paso para lanzar el clúster consiste en crearla(s), con los datos que se ingresaron en el apartado de definición de llaves (imagen 16), como todos los pasos debe hacerse con el súper usuario de Ubuntu, con el siguiente comando Starclustercreatekeymykey -o ~/.starcluster/mykey.rsa, mykey el nombre de la clave, -o porque está en un archive de salida y la dirección donde se creara la llave. Se procede como se ve en la imagen 11.

10

```
root@diegocastillo:/home/diegocastillo# starcluster createkey mykey -o ~/.starcluster/mykey.rsa
StarCluster - (http://star.mit.edu/cluster) (v. 0.95.0)
Software Tools for Academic and Researchers (STAR)
Please submit bug reports to starcluster@mit.edu

>>> Successfully created keypair: mykey
>>> fingerprint: b4:55:f7:cf:34:b6:c8:27:08:04:2c:5e:13:7e:2b:58:c0:e4:6d:b6
>>> keypair written to /root/.starcluster/mykey.rsa
root@diegocastillo:/home/diegocastillo#
```

Imagen 11. Creación de la llave. Fuente: Autores.

En la carpeta indicada se puede visualizar el archivo de configuración y la llave, como en la imagen 12.



Imagen 12. Carpeta .starcluster con el archivo de configuración y la llave. Fuente: Autores.

Luego de tener todas las configuraciones, la llave creada y haber ingresado como súper usuario, se procede a inicializar el clúster con el comando:

Starcluster start mycluster, como se ve en la imagen 13.

```
root@diegocastillo:/home/diegocastillo# starcluster start mycluster
StarCluster - (http://star.mit.edu/cluster) (v. 0.95.6)
Software Tools for Academic and Researchers (STAR)
Please submit bug reports to starcluster@mit.edu

>>> Using default cluster template: mycluster
>>> Validating cluster template settings...
>>> Cluster template settings are valid
>>> Starting cluster...
>>> Launching a 3-node cluster...
>>> Creating security group @sc-mycluster...
```

Imagen 13. Inicio del clúster. Fuente: Autores.

Luego de que StarCluster termine de configurar el clúster y sus instancias se debe acceder a la consola de administración de AWS, como en la imagen 14.

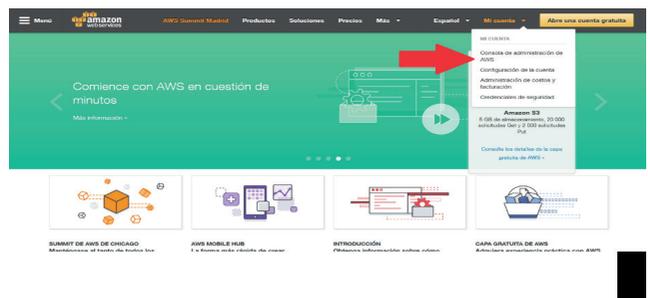


Imagen 14. Accediendo a la consola de administración de AWS. Fuente: Autores.

Se da click en instancias, en el menú lateral se podrá ver la lista de nodos creados, aquí se puede comprobar que el clúster junto con los nodos deseados se crea correctamente. Se puede verificar además el tamaño del nodo y el sistema operativo instalado.

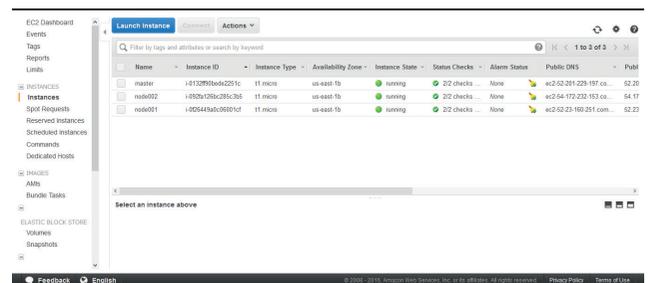


Imagen 15. Lista de instancias creadas en AWS. Fuente: Autores.

Se debe parar el clúster cada vez que deje de usarse con el comando:

Starcluster stop mycluster

Para iniciar el clúster luego de pararlo se utiliza Starcluster start -x mycluster

Para terminarlo (borrarlo) se utiliza el comando: Starclusterterminatedmycluster

### 3. Probando el clúster y sus nodos

SSH (Secure Shell) es el intérprete de órdenes que sirve para acceder a maquinas remotas a través de una red, permite manejar por completo otro computador por medio de un intérprete de comandos y también puede redirigir tráfico de X (Sistema de Ventanas X) para poder ejecutar programas gráficos si tenemos ejecutando un Servidor X (en sistemas Unix y Windows).

Además de la conexión a otros dispositivos, SSH permite copiar datos de forma segura (tanto archivos sueltos como simular sesiones FTP cifradas), gestionar claves RSA para no escribir claves al conectar a los dispositivos y pasar los datos de cualquier otra aplicación por un canal seguro tunelizado mediante SSH.

Se utilizara SSH para comprobar el correcto funcionamiento del clúster y posteriormente se configurara correctamente para poder acceder desde el nodo maestro a cada uno de los nodos.

Se debe dar permisos de acceso a la llave para poder probar los nodos, los permisos son para que la llave se pueda leer por el propietario (chmod 400), como se ve en la imagen 16.

```
root@diegocastillo:/home/diegocastillo# chmod 400 ~/.starcluster/mykey.rsa
```

Imagen 16. Cambiando permisos de acceso. Fuente: Autores.

Para comprobar el funcionamiento del clúster se usa el comando de conexión de ssh: ssh -i ~/.starcluster/mykey.rsa ubuntu@(dirección del nodo) como en la imagen 17.

```
root@diegocastillo:/home/diegocastillo# ssh -i ~/.starcluster/mykey.rsa ubuntu@ec2-52-201-229-197.compute-1.amazonaws.com
The authenticity of host 'ec2-52-201-229-197.compute-1.amazonaws.com (52.201.229.197)' can't be established.
ECDSA key fingerprint is cd:3b:d8:33:43:b9:c8:21:c5:75:c1:df:b5:58:81:fd.
Are you sure you want to continue connecting (yes/no)? yes
Warning: Permanently added 'ec2-52-201-229-197.compute-1.amazonaws.com,52.201.229.197' (ECDSA) to the list of known hosts.
root@master:~#
```

Imagen 17. Comando SSH para conexión al nodo maestro. Fuente: Autores.

```
starcluster
StarCluster Ubuntu 14.04 ARM
Software Tools for Academics and Researchers (STAR)
Homepage: http://star.mit.edu/cluster
Documentation: http://star.mit.edu/cluster/docs/latest
Code: https://github.com/mit-llnwd/starcluster
Billing list: http://star.mit.edu/cluster/billinglist.html

This AMI contains:
- Open Grid Scheduler (OGS - formerly OGE) queuing system
- Condor workflow management system
- OpenMPI compiled with Open Grid Scheduler support
- NumPy/SciPy/Highly optimized Basic Linear Algebra Routines
- NumPy/SciPy/Linked against OpenMPI
- Pandas - Data Analysis Library
- Python 3.1.0 with pip, and notebook support
- Julia 0.3.0
- and more! Use 'dpkg -l' to show all installed packages!

Open Grid Scheduler/Condor cheatsheet:
- starcluster_v - show status of batch jobs
- what/condor_status - show status of hosts, queues, and jobs
- what/condor_submit - submit batch jobs (e.g. cond -cmd /job.sh)
- what/condor_rm - delete batch jobs (e.g. del1 7)
- qconf - configure Open Grid Scheduler system

Current System Status:
System Load: 0.11 Processes: 80
Usage of /: 14.0% of 7.84Gd Memory Usage: 0
Memory usage: 17% IP address for eth0: 172.31.4.51
Host name: 88
https://aws.amazon.com/ec2/
root@master:~#
```

Imagen 18. Conexión en el nodo maestro. Fuente: Autores.

Para obtener la dirección de los nodos debe accederse a la lista de nodos, la columna correspondiente a DNS público (Public DNS), esta es la dirección que debe utilizarse para conectarse a un nodo a través de SSH.

Imagen 19. Dirección de cada nodo. Fuente: Autores.

Con el comando qhost se puede verificar la capacidad del clúster

```
root@master:~# qhost
HOSTNAME ARCH NCPU LOAD MEMTOT MEMUSE SWAPTO SWAPUS
-----
global
master linux-x64 1 0.01 589.6M 98.9M 0.0 0.0
node001 linux-x64 1 0.01 589.6M 80.3M 0.0 0.0
node002 linux-x64 1 0.01 589.6M 80.8M 0.0 0.0
```

Imagen 20. Capacidad del cluster. Fuente: Autores.

### 4. Instalación de SSH en el clúster

El SSH permitirá conectarse desde el nodo maestro a los nodos esclavos y viceversa, por lo cual debe generarse una clave que conozcan los 3 nodos del clúster para permitir el acceso entre ellos.

Con la sesión de súper usuario se debe acceder al nodo maestro a través del comando de starcluster: starclustersshmastermycluster

En el nodo maestro debe generarse la clave que conocerán los tres nodos y que permitirá la conexión entre ellos, el comando que sirve, como se ve en la imagen 21.

```
root@master:~# ssh-keygen -t rsa
Generating public/private rsa key pair.
Enter file in which to save the key (/root/.ssh/id_rsa): key.pem
Enter passphrase (empty for no passphrase):
Enter same passphrase again:
Your identification has been saved in key.pem.
Your public key has been saved in key.pem.pub.
The key fingerprint is:
1c:01:95:c0:19:b6:00:e0:d5:34:87:77:a9:38:bc:2d root@master
The key's randomart image is:
+--[ RSA 2048 ]--+
|. . . o + * B o . .
|. . = o + .
|. . + .
|. . + o
|. . + S
|. . E .
|. .
+-----+
```

Imagen 21. Creación de la llave en el nodo maestro para la conexión entre los nodos. Fuente: Autores.

Desde el usuario root en el nodo maestro (comando sudo su), debe copiarse la clave creada a los nodos esclavos con el comando:

ssh-copy-id -i ~/.ssh/id\_rsa.pub root@(dirección del nodo), esto se repite para los dos nodos esclavos.

```
root@master:/home/ubuntu# ssh-copy-id -i ~/.ssh/id_rsa.pub root@ec2-54-172-15-141.compute-1.amazonaws.com
Now try logging into the machine, with "ssh 'root@ec2-54-172-15-141.compute-1.amazonaws.com'", and check to
make sure we haven't added extra keys that you weren't expecting.
```

Imagen 22. Copia de la llave del nodo maestro a los nodos esclavos. Fuente: Autores.

Además evita que se tenga que poner la dirección de la clave cada vez que quiera accederse a los nodos.

Se accede a los nodos esclavos con el comando ssh, usuario root y dirección de los nodos.

```
root@master:/home/ubuntu# ssh root@ec2-54-172-15-141.compute-1.amazonaws.com
```

Imagen 23. Comando para acceder desde el nodo maestro a los nodos esclavos. Fuente: Autores.

Se puede visualizar que se ingresa desde el nodo maestro al nodo esclavo por la dirección que aparece.

```
root@node002:~#
```

Imagen 24. Visualización del acceso desde el nodo maestro al nodo esclavo 2. Fuente: Autores.

## 5. Ejecución del programa en el clúster y Montaje del software en el clúster



Para subir el software que se quiere ejecutar en el clúster se debe ubicar la carpeta que contiene el proyecto ejecutable que netbeans o eclipse generan (Archivo jar, librerías, Dataset).

Se debe tener en cuenta la carpeta donde se ubica el proyecto ejecutable.



Imagen 25. Proyecto dist de archivos generados por Netbeans. Fuente: Autores.

Con el clúster ejecutando se procede a subir dicho archivo a todos los nodos del mismo.

Se utiliza el comando put de starcluster para cargar la carpeta indicándole primero la dirección del archivo localmente y luego la dirección donde se desea poner la carpeta en el nodo, se debe indicar el nodo al que se desea subir, como en la imagen 26. En caso de no hacerlo el proyecto será subido al nodo maestro.

```
root@diegocastillo:/home/diegocastillo/Desktop# starcluster put mycluster2 dist /home/
StarCluster - (http://star.mit.edu/cluster) (v. 0.95.6)
Software Tools for Academics and Researchers (STAR)
Please submit bug reports to starcluster@mit.edu

decisionTree.jar 100% | Time: 00:00:00 12.82 M/s
glass.arff 100% | Time: 00:00:00 23.37 M/s
README.TXT 100% | Time: 00:00:00 4.96 M/s
weka.jar 100% | Time: 00:00:40 272.57 K/s
root@diegocastillo:/home/diegocastillo/Desktop#
```

Imagen 26. Carga del proyecto al nodo maestro del clúster. Fuente: Autores.

Con el comando \$ starcluster put mycluster2 --node node001 dist /home/ se procede a cargar la carpeta a los nodos.

```
root@diegocastillo:/home/diegocastillo/Desktop# starcluster put mycluster2 --node node001 dist /home/
StarCluster - (http://star.mit.edu/cluster) (v. 0.95.6)
Software Tools for Academics and Researchers (STAR)
Please submit bug reports to starcluster@mit.edu

decisionTree.jar 100% | Time: 00:00:00 16.74 M/s
glass.arff 100% | Time: 00:00:00 30.52 M/s
README.TXT 100% | Time: 00:00:00 5.29 M/s
weka.jar 100% | Time: 00:00:40 272.03 K/s
root@diegocastillo:/home/diegocastillo/Desktop# starcluster put mycluster2 --node node002 dist /home/
StarCluster - (http://star.mit.edu/cluster) (v. 0.95.6)
Software Tools for Academics and Researchers (STAR)
Please submit bug reports to starcluster@mit.edu

decisionTree.jar 100% | Time: 00:00:00 16.35 M/s
glass.arff 100% | Time: 00:00:00 28.71 M/s
```

Imagen 27. Carga del proyecto a los nodos esclavos del clúster. Fuente: Autores.

Es importante verificar que se halla copiado correctamente el proyecto a los nodos, primero entrando con ssh en cada nodo y se ubica en la carpeta home del nodo utilizando el comando ls, para que imprima los archivos disponibles en dicha carpeta.

## 6. Ejecución del software en el clúster

Lo primero que se debe hacer en el clúster es habilitar el plugin de mpich2 en el archivo de configuración del clúster, como en la imagen 28.

```
[plugin mpich2]
SETUP_CLASS = starcluster.plugins.mpich2.MPICH2Setup
```

Imagen 28. Configuración del plugin mpich2 en el archivo de configuración de starcluster. Fuente: Autores.

Después de reiniciar el clúster se debe correr el plugin mpich2, como en la imagen 29.

```
root@diegocastillo:/# starcluster runplugin mpich2 mycluster2
StarCluster - (http://star.mit.edu/cluster) (v. 0.95.6)
Software Tools for Academics and Researchers (STAR)
Please submit bug reports to starcluster@mit.edu

>>> Running plugin mpich2
>>> Creating MPICH2 hosts file
>>> Configuring MPICH2 profile
3/3 | Time: 00:00:00 100%
3/3 | Time: 00:00:00 100%
>>> MPICH2 is now ready to use
>>> Use mpicc, mpif90, mpiexec, etc. to compile and run your MPI apps
root@diegocastillo:/#
```

Imagen 29. Ejecución del plugin de mpich2. Fuente: Autores.

Para ejecutar el programa se debe utilizar el comando de mpimirun de java para poder ejecutar en todos los nodos el ejecutable JAR en todos los nodos, como en la imagen 30.

```
README.TXT decisionTree.jar dist glass.arff lib
root@master:/home/dist# mpimirun java -jar decisionTree.jar
```

Imagen 30. Subiendo el proyecto al clúster. Fuente: Autores.

## 7. Validación del código

El código que utiliza el algoritmo fue tomado de un proyecto propiedad de Madipalli, Gangsetty, Gangdhara y Malla público en un repositorio de Github [18], pero además se encuentran variaciones a través de internet y es posible encontrar la documentación de dichos métodos y clases en la página de la Universidad de Waikato [17]

Primero se procede a cargar el Dataset que debe ser de extensión arff para evitar problemas con otros tipos de archivos, la clase BufferedReader de java permite cargar dicho Dataset a un objeto, como en la imagen 31.

```
BufferedReader datafile = readDataFile("glass.arff");
```

Imagen 31. Carga del Dataset al objeto datafile. Fuente: Autores.

Se crea un objeto tipo Instances que será el que contendrá el objeto datafile para manejar el Dataset con los métodos de Weka. Se debe además ubicar ese objeto como el último atributo de la clase para que funcione, como en la imagen 32.

```
Instances data = new Instances(datafile);
data.setClassIndex(data.numAttributes() - 1);
```

Imagen 32. Creación objeto Instances y haciéndolo el último atributo de la clase. Fuente: Autores.

Para ejecutar la validación cruzada tantas veces como se desee, se pasa el parámetro data y el número de iteraciones deseadas (10) al método de validación cruzada. En un objeto de array bidimensional, como en la imagen 33.

```
// Do 10-split cross validation
Instances[][] split = crossValidationSplit(data, 10);
```

Imagen 33. iteraciones y paso de parámetro data al método de validación cruzada. Fuente: Autores.

El método de validación cruzada se encarga de separar los resultados del algoritmo en datos de prueba y datos de entrenamiento durante todas las iteraciones como en la imagen 34.

```
public static Instances[][] crossValidationSplit(Instances data, int numberOfFolds) {
    Instances[][] split = new Instances[2][numberOfFolds];

    for (int i = 0; i < numberOfFolds; i++) {
        split[0][i] = data.trainCV(numberOfFolds, i);
        split[1][i] = data.testCV(numberOfFolds, i);
    }

    return split;
}
```

Imagen 34. Método de validación cruzada. Fuente: Autores.

Se debe usar un conjunto de clasificadores para la ejecución del algoritmo con validación cruzada, estos están contenidos dentro de un clasificador llamado modelo el cual tiene cuatro atributos el árbol de decisión J48, parte, tabla de decisión, y árbol de decisión de un nivel, como en la imagen 35.

```
// Use a set of classifiers
Classifier[] models = {
    new J48(), // a decision tree
    new PART(),
    new DecisionTable(), // decision table majority classifier
    new DecisionStump() // one-level decision tree
};
```

Imagen 35. Clasificador modelo. Fuente: Autores.

Para cada nivel del modelo se debe correr un ciclo que permita coleccionar cada grupo de predicciones para el modelo actual con el vector rápido, además, se deben probar los datos de prueba y construir el modelo con los datos de entrenamiento. Finalmente se calcula la precisión global del algoritmo en todas las divisiones, como en la imagen 36.

```
// Run for each model
for (int j = 0; j < models.length; j++) {
    // Collect every group of predictions for current model in a FastVector
    FastVector predictions = new FastVector();

    // For each training-testing split pair, train and test the classifier
    for (int i = 0; i < trainingSplits.length; i++) {
        Evaluation validation = classify(models[j], trainingSplits[i], testingSplits[i]);
        predictions.appendElements(validation.predictions());

        // Uncomment to see the summary for each training-testing pair.
        System.out.println(models[j].toString());
        System.out.println(validation.toClassDetailsString());
        System.out.println(validation.toSummaryString());
        System.in.read();
    }

    // Calculate overall accuracy of current classifier on all splits
    double accuracy = calculateAccuracy(predictions);

    System.out.println("Accuracy of " + models[j].getClass().getSimpleName() + ": "
        + String.format("%.2f%%", accuracy)
        + "\n-----" + models[j].toString());
}
```

Imagen 36. Ciclo que se corre en todos los niveles que permite predecir, crear y probar el árbol y calcular la precisión global del algoritmo. Fuente: Autores.

## Resultados

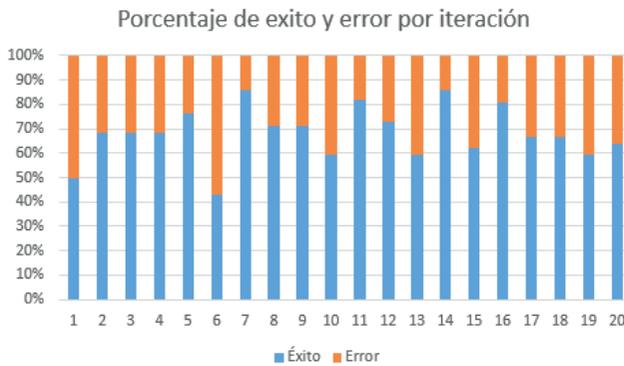
### 1. Resultados del algoritmo

En la evaluación cruzada se realizan tantas evaluaciones como se indica en el parámetro de iteraciones folds. Se dividen las instancias en tantas carpetas como indica este parámetro y en cada evaluación se toma una carpeta como dato de prueba

para que el resto sean datos de entrenamiento que permitan la construcción del modelo (el árbol), los errores calculados son el promedio de todas las ejecuciones.

En promedio se dividieron los datos en grupos de 21 de 214 instancias que posee el Dataset glass que posteriormente se clasificaron con el parámetro J48 y según la posición se verifica el éxito o error.

En la gráfica 1 se presenta el porcentaje de éxito y error en una prueba con 10 iteraciones del parámetro folds.



Gráfica 1. Porcentaje de éxito y error por iteración. Fuente: Autores.

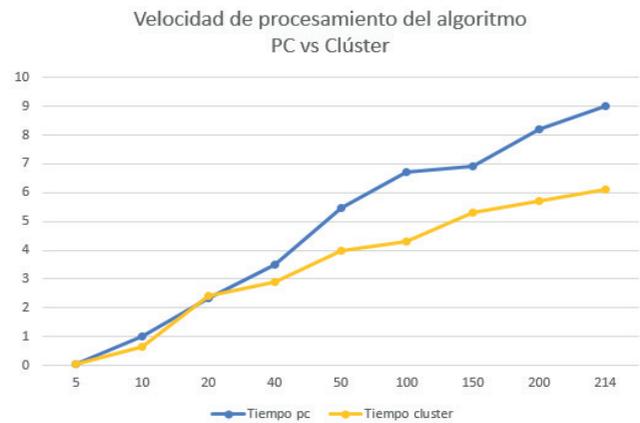
Se observa que aunque el porcentaje de éxito de los datos de prueba de vidrios evaluados en el algoritmo es mayor que el de errores, el algoritmo no mejora con el número de iteraciones hechas, pero se puede establecer la exactitud que tiene el algoritmo con estos datos es en promedio 67,976%.

### Resultados procesamiento en clúster

Una de las ventajas de procesar el algoritmo en el clúster es la velocidad de ejecución de éste, debido a que el mismo algoritmo que se ejecuta en una sola máquina es ejecutado en todos los nodos del clúster mejorando el rendimiento notablemente; muchas veces la cantidad de datos es tan extensa que los computadores normales no pueden ejecutar procesos de minería de datos, por lo que es en estos casos que se requiere la combinación de tecnologías como computación a través de clúster en la nube.

El número de iteraciones hace que la ejecución del algoritmo crezca exponencialmente debido al número de procesos que se deben hacer al evaluar los datos de prueba y construir el modelo con los datos de entrenamiento.

La gráfica 2 muestra el tiempo de ejecución del algoritmo J48 evaluado en número de iteraciones de validación cruzada contra segundos.



Gráfica 2. Velocidad de procesamiento en segundos PC vs Clúster.

Fuente: Autores.

Se puede visualizar que la diferencia de tiempo de ejecución es notoria desde las 40 iteraciones de validación cruzada, es evidente como en el computador de escritorio el tiempo de ejecución crece exponencialmente, para que dicho proceso ocurra en el clúster se debe utilizar una base de datos muy extensa.

### Conclusiones

Como se evidencia en los antecedentes, la computación en la nube para la ejecución de minería de datos es uno de los temas más recurrentes en los últimos años, ya que la posibilidad de poder analizar cantidades gigantescas de datos para evaluar posibles soluciones, nuevos productos, tendencias y demás es de suma importancia para las corporaciones y gobiernos; con aplicaciones desde marketing hasta misiones espaciales, las dos tecnologías juntas no tienen límites.

El presente artículo demuestra que dicho proceso se puede llevar a cabo con software libre, como Weka y Starcluster utilizando la capa gratuita de los servicios de Amazon Web Service. Si se desea cantidades gigantes de datos estas herramientas tienen soporte escalable que facilitarían dicho proceso.

El algoritmo J48 permite establecer características que agrupan objetos según ciertos criterios. En este artículo se demuestra cómo dicho algoritmo, junto con el proceso de validación cruzada, crean modelos que son probados con todos los datos disponibles que establecen el porcentaje de aciertos y errores de dicho algoritmo. Dichos resultados sirven para determinar qué tanto debe acoplarse el proceso para obtener mejores resultados.

La ejecución de procesos en el clúster muestra mejores resultados con respecto a computadores domésticos a medida que la cantidad de datos crece y el procesamiento supera la capacidad de estos ordenadores. Además, el número de instancias que se implementen en un clúster pueden llegar a ser contraproducentes debido a que pueden no necesitarse. Esto se debe a que no se ha cumplido con la capacidad de las instancias existentes. Por eso es recomendable utilizar tecnologías escalables que permitan administrar el número de nodos y tamaño de los mismos, dichas especificaciones son propuestas por Amazon Web Service en su página web.

El Dataset utilizado contiene 251 instancias con 11 campos, es un archivo de tamaño pequeño (1mb) que no utiliza el clúster en toda su capacidad, se estima que un tamaño aceptable para el software y las instancias utilizadas (t1.miro) es de aproximadamente 100 mbs máximo, para evitar costos por procesamiento y almacenamiento.

## De los autores

**Jairo Jamith Palacios Rozo:** Ingeniero de Sistemas Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Profesor de planta Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Especialización Universidad Antonio Nariño Especialización En Administración de Empresas. Magister Universidad Santo Tomás Maestría en Educación. jjpalacios@unicolmayor.edu.co

## Referencias

[1]. Amazon. (2016). ec2 instances. 22 de junio de 2016, de Amazon sitio web: <https://aws.amazon.com/es/ec2/>

[2]. Universidad de Waikato. (2010). Weka. 26 de junio de 2016, de Universidad de Waikato sitio web: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

[3]. Instituto de tecnología de Massachusetts (MIT). (2016). starcluster. 19 de junio de 2016, de MIT sitio web: <http://star.mit.edu/cluster/index.html>

[4]. Liliana Hernández Cervantes, Alfredo j. Santillán González, Reyna e. caballero cruz. (2004). Clúster. Revista digital universitaria, 4, 1,2.

[5]. Maestría de exploración de datos de datos y descubrimiento del conocimiento. (2015) ¿qué es data mining? 13 de junio de 2016, de Universidad de Buenos Aires, UBA, Argentina, sitio web: <http://datamining.dc.uba.ar/datamining/index.php/que-es-data-mining>

[6]. Ingrid Wilford Rivera, Alejandro Rosete Suárez. Alfredo Rodríguez Díaz. (2010). Aplicación de la minería de datos para el análisis de información clínica. estudio experimental en cardiopatías isquémicas. 10 de junio de 2016, de revista cubana de información médica sitio web: [http://www.rcim.sld.cu/revista\\_18/articulos\\_htm/mineriadatos.htm](http://www.rcim.sld.cu/revista_18/articulos_htm/mineriadatos.htm).

[7]. Microsoft. (2016). Validación cruzada (Analysis Services - Minería de datos). 2 de julio de 2016, de Microsoft Sitio web: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/bb895174.aspx>

[8]. García Jiménez, María - Álvarez Sierra, Aránzazu. (2010). Análisis de Datos en WEKA – Pruebas de Selectividad. 29 de junio de 2016, de Universidad Carlos III, Madrid, España

[9]. MPI. (2000). MPI. 10 de junio de 2016, de Ubuntu Sitio web: <http://www.mpich.org/downloads/>

[10]. D. Chiu and G. Agrawal, "Evaluating caching and storage options on the Amazon Web Services Cloud," 2010 11th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing, Brussels, 2010, pp. 17-24. doi: 10.1109/GRID.2010.5697949 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5697949&isnumber=5697799>

[11]. R. Gupta, Moinuddin and P. Kumar, "Cloud computing data mining to SCADA for energy management," 2015 Annual IEEE India Conference (INDICON), New Delhi, 2015, pp. 1-6. doi: 10.1109/INDICON.2015.7443687 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7443687&isnumber=7443105>

[12]. L. Ismail, M. M. Masud and L. Khan, "FSBD: A Framework for Scheduling of Big Data Mining in Cloud Computing," 2014 IEEE International Congress on Big Data, Anchorage, AK, 2014, pp. 514-521. doi: 10.1109/BigData.Congress.2014.81 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6906823&isnumber=6906742>

[13]. Y. Wang and Y. W. Zhao, "Transplantation of Data Mining Algorithms to Cloud Computing Platform When Dealing Big Data," Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC), 2014 International Conference on, Shanghai, 2014, pp. 175-178. doi: 10.1109/CyberC.2014.39 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6984302&isnumber=6984259>

[14]. C. Ji, Y. Li, W. Qiu, U. Awada and K. Li, "Big Data Processing in Cloud Computing Environments," 2012 12th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms and Networks, San Marcos, TX, 2012, pp. 17-23. doi: 10.1109/I-SPAN.2012.9 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6428800&isnumber=6428797>

[15]. UCI. (2006). GlassIdentification Data Set . 8 de junio de 2016, de UCI, tabla basada en Atribute information, Sitio web: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Glass+Identification>

[16]. Hernández Cervantes, Liliana; Santillán González, Alfredo; Caballero Cruz, Reyna . (2004). MAESTROS Y ESCLAVOS. UNA APROXIMACIÓN A LOS CÚMULOS DE COMPUTADORAS. Revista Digital Universitaria, UNAM, 4, 4.Disponible [http://www.revista.unam.mx/vol.4/num2/art3/jun\\_art3.pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.4/num2/art3/jun_art3.pdf)

[17]. Weka. (2010). Use WEKA in your Java code. 1 de septiembre de 2016, de TheUniversity of Waikato Sitio web: <https://weka.wikispaces.com/Use+WEKA+in+your+Java+code>

[18]. S. Madipalli, A. Gangisetty, V.Gangdhara, K. Malla. Código java utilizado, gangisettyarjun. (2015). Predicting Cardiac and Diabetic Problems using EHR research data. 1 de octubre de 2016, de github Sitio web: [https://github.com/gangisettyarjun/HealthCare\\_PredictiveAnalytics](https://github.com/gangisettyarjun/HealthCare_PredictiveAnalytics)

# Análisis de idoneidad del suelo para construcción de colegios públicos integrando SIG y PAJ en el área urbana de Bogotá

## Land suitability analysis for construction of public schools integrating GIS and AHP in Bogotá's urban area

Hector Ricardo Patiño Rivera<sup>1</sup>  
Adriana Lorena León Gallo<sup>2</sup>  
Miguel Antonio Ávila Angulo<sup>3</sup>



### Resumen

Este artículo presenta un procedimiento para evaluar la idoneidad del suelo para su destinación a nuevos equipamientos educativos públicos en el área urbana de la ciudad de Bogotá, D.C., Colombia, utilizando un proceso de análisis jerárquico (PAJ) y sistemas de información geográfica (SIG) en los que se tienen en cuenta las directrices de la norma NTC 4595, el POT de la ciudad y otros usos de suelos cuyo cambio de actividad es poco probable como son los destinados a hospitales y cementerios, entre otros. Como resultado del análisis se establecen las zonas idóneas para la ubicación de terrenos destinados a dicho fin. Además se reconoce cuales equipamientos educativos actuales no cumplen con los criterios.

### Palabras clave

Sistemas de información geográfica (SIG), Proceso análisis jerárquico (PAJ), Evaluación multicriterio (EMC).

### Abstract

This study presents a procedure in order to evaluate the suitability of land for the destination of new public educational equipment within Bogotá, Colombia urban area, using an Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information Systems (GIS); where the criteria considered were NTC 4595, city's Land Use Planning and other soils whose change of activity is unlikely as hospitals and graveyards among others. As a result of the analysis it is established which areas are suitable for the location of land intended for that purpose, also it can be recognized which existing educational equipment do not meet the criteria.

### Keywords

Geographic Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Multicriteria Evaluation (MCE).

<sup>1</sup> hrpatinor@correo.udistrital.edu.co  
<sup>2</sup> alleong@correo.udistrital.edu.co  
<sup>3</sup> maavila@udistrital.edu.co

## Introducción

El actual Plan de Desarrollo de Bogotá reglamentado bajo el Acuerdo 645 de 2016 plantea mejorar las condiciones de acceso y permanencia a la educación y para ello se propone la construcción de nueva infraestructura que permita tener instituciones educativas más cerca de sus hogares [1]. La población en edad escolar (PEE) en colegios distritales de la ciudad alcanzaba un total de 877.536 estudiantes para el año 2015 teniendo en cuenta los colegios distritales, colegios privados en convenio con la secretaría de educación distrital y colegios en concesión. La tasa de deserción educativa ha venido decreciendo paulatinamente, pasando de un 3.9% en 2010 hasta un 2,3% en 2014, lo cual mide positivamente la eficiencia interna del sistema educativo [2]. Tomando en cuenta que los próximos años se espera que Bogotá siga creciendo en número de habitantes [3] [4], la planificación en infraestructura de equipamientos colectivos se hace necesaria, todo esto dado que la selección de un lugar al ser una decisión compleja es un componente clave para el éxito de cualquier proyecto, [5] más aún cuando se involucran dineros del sector público. Hasta 1998 parecía como un hecho normal que tanto la ubicación de los colegios y la población no obedecían a ningún tipo de previsión urbanística, sino que, en buena parte eran el resultado del azar, los colegios se construían donde hubiesen predios disponibles o, incluso, se adaptaban para tal uso [6]. No fue sino hasta el año 2006 cuando el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) ratificó la Norma Técnica (NTC) 4595, en la cual se establecen parámetros mínimos para la construcción de equipamientos educativos, actualmente la NTC 4595 se encuentra en su segunda actualización, los parámetros creados tienen en cuenta usos del suelo y la topografía del mismo, entre otros. Adicionalmente a los sugeridos en la NTC también se mencionan requerimientos adicionales dependiendo del POT de la ciudad.

Como objetivo principal se realiza un desarrollo metodológico regido bajo la legislación Colombiana, con el fin de localizar áreas potencialmente idóneas para la construcción y/o ubicación de equipamientos educativos de carácter público, utilizando análisis multicriterio y sistemas de información geográfica, debido a que estos son una herramienta poderosa para procesar datos espaciales y no espaciales, además, de visualizar resultados [7]. Aunque la integración de PAJ y SIG tiene como finalidad diversos tipos de análisis [8], entre otros la creación de mapas que pueden ser utilizados como herramienta para análisis de idoneidad [9] y actividades de desarrollo, los mapas obtenidos de esta manera son de gran

utilidad a la hora de toma de decisiones [10]. La tecnología SIG es empleada para formular diferentes *mapas de criterio*, los cuales son usados en PAJ para construir modelos de idoneidad [11].

## Metodología

A continuación se describe el proceso de integración de las metodologías planteadas por el PAJ y un SIG. El objetivo de dicha integración es la identificación de las zonas idóneas para construcción de los equipamientos educativos en la ciudad de Bogotá, debido a la existencia amplia de criterios, lo cual genera dificultad al momento de la toma de decisiones. El PAJ es una herramienta útil para manejar decisiones multicriterio [12]; el método de trabajo es lógico y estructurado, optimiza la toma de decisiones complejas cuando existen múltiples criterios o atributos mediante la descomposición del problema en una estructura jerárquica [13] lo cual conlleva a ver un problema determinado, como un conjunto de pequeños problemas individuales, el procedimiento consiste en justificar una decisión de manera subjetiva, dependiendo de cada uno de los criterios que se tengan para tomar la decisión. Analizando los subcriterios y su relación mutua los juicios subjetivos se convierten en análisis cuantitativos empleando una escala de importancia ponderada [14].

Esta metodología desarrollada originalmente por Saaty [15] plantea el siguiente flujo de trabajo para lograr la descomposición de un problema, meta u objetivo:

- Definir el problema, meta u objetivo y determinar el tipo de solución que se desea.
- Estructurar la jerarquía tomando como inicio el objetivo que impulsa la investigación, posteriormente los criterios, luego los subcriterios (criterios que dependen de los elementos posteriores) hasta el nivel más bajo (por lo general las alternativas).
- Construir las matrices de comparación por pares de criterio (MCP), en las cuales se contrastan uno frente a otros de manera cuantificable y determinan la importancia relativa entre sí.
- Realizar el proceso matemático para calcular los pesos específicos de cada criterio. Verificar los radios de consistencia (RC) de cada una de las MCP para demostrar que los valores ingresados en estas tienen una cualificación lógica y

estructurada. Utilizar los pesos encontrados en los criterios para así ponderar los pesos de los subcriterios y ajustarlos a la estructura general planteada.

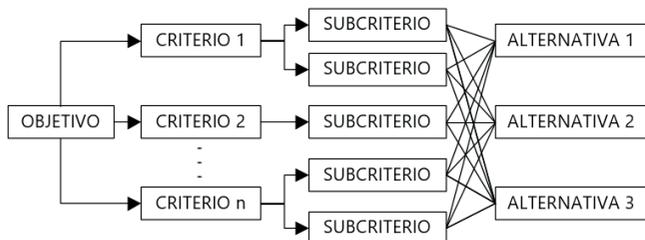


Figura 1 Estructura general de un PAJ. Fuente: Autores con base en [16]

La Figura 1 representa la estructura de un PAJ de manera general. En cada nivel de la jerarquía se realiza una comparación entre los criterios de este nivel mediante las MCP, los niveles jerárquicos inferiores serán analizados teniendo en cuenta el nivel superior del cual proceden y así sucesivamente hasta las alternativas.

La construcción de las matrices de comparación por pares de criterio, se realiza tomando de cada nivel jerárquico los criterios a analizar (en niveles más bajos se tendrá en cuenta el nivel y el criterio del que depende) y se procede a analizar el grado de importancia que posee un criterio frente a otro utilizando los valores establecidos en la Tabla 1 [17], esto significa que un criterio comparado consigo mismo tendrá la misma importancia, denotada con un uno (1) y que la triangular superior de la matriz tendrá valores inversos a la triangular inferior.

Tabla 1 Escala fundamental de números absolutos. Fuente: [17]

Valor Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyes de igual manera a los objetivos
3	Importancia moderada	El criterio A es ligeramente favorecido sobre el criterio B
5	Importancia Fuerte	El criterio A es fuertemente favorecido sobre el criterio B
7	Importancia muy Fuerte	El criterio A es severamente favorecido sobre el criterio B
9	Importancia Extrema	El criterio A es en extremo más importante que el criterio B
2,4,6,8	Valores Intermedios	Cuando sea necesario un término medio

Posterior al proceso de creación de MCP se debe normalizar dicha matriz teniendo en cuenta la ecuación (1), esto se realiza sumando el valor de cada columna en la fila correspondiente, seguidamente el valor original en la posición i,j de la MCP es dividido entre dicha suma.

$$MCN_{ij} = \frac{MCP_{ij}}{\sum_{l=1}^m MCP_{lj}} \tag{1}$$

Donde i y j representan la posición de un valor en la matriz, l representa la columna de la matriz a la que se le está realizando el proceso aditivo y m representa la cantidad de filas de la matriz.

Ahora bien con el fin de asignar el vector de pesos w (el cual es un vector columna m-dimensional) se promedian todos los registros por fila en MCN, como se describe en la ecuación (2).

$$W_i = \frac{\sum_{l=1}^m MCN_{il}}{m} \tag{2}$$

La metodología sugiere comprobar que los valores asignados en la MCP tengan un radio de consistencia menor a 0.1 por lo cual, si este valor es mayor, se deben reasignar valores en la MCP; para obtener el valor del RC es necesario calcular el índice de consistencia (IC) y conocer el índice aleatorio (IA), dado por la expresión:

$$IC = \frac{\lambda max - n}{n - 1} \tag{3}$$

Donde  $\lambda max$  es el resultado del promedio de la multiplicación de la MCP y W, n es la dimensión de la MCP. El cálculo de la IA se obtiene mediante la simulación de 100000 matrices aleatorias [18] como lo muestra la Tabla 2.

Tabla 2 Índice de consistencia Aleatorio. Fuente: Autores con base en [13]

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570

Una vez se tiene el IC y el IA, se calcula el RC, de acuerdo con la ecuación (4), en caso de que este valor sea mayor a 0.1 es necesario revisar de nuevo la MCP y reevaluar las prioridades de quien está tomando la decisión:

$$RC = \frac{IC}{IA} \tag{4}$$

Por otra parte los resultados de un PAJ pueden ser analizados en un SIG con una herramienta de geoproceto, superposición ponderada, la cual se utiliza en casos en que existan problemas de varios criterios, como la selección de sitios, entre otros. Al ser un análisis de superposición se debe definir el problema y dividirlo en pequeños problemas individuales de manera similar a un PAJ; sin embargo, la herramienta requiere un porcentaje de influencia de cada uno de los criterios que serán tenidos en cuenta en el análisis y es debido a este requerimiento que en necesario integrar PAJ con SIG. Los análisis que realiza la herramienta se hacen en formato raster.

### Procedimiento

Inicialmente se efectuó una consulta sobre estudios que implementan la integración entre PAJ y SIG; posteriormente, se procedió a la búsqueda de la legislación existente sobre equipamientos educativos, se hallaron dos normas que están directamente asociadas con la localización y/o construcción para estos equipamientos, siendo estas: la NTC 4595 y el POT de la ciudad, basado en la legislación actual se garantiza que el análisis tenga la mayor cantidad fiable de variables reales que puedan afectar la localización de equipamientos educativos, por esta razón, se tienen en cuenta 16 variables (denominados en adelante subcriterios) pertenecientes a las dos normatividades (criterios), sin embargo, adicionalmente se consideró conveniente la creación de otro criterio que involucre aquellos tipos de suelo cuyo cambio de uso es poco probable, así, se crearon cinco subcriterios mas, de esta forma el estudio se realizó con un total de 21 subcriterios divididos en tres criterios distribuidos así:

- 12 subcriterios para la NTC 4595.
- 4 subcriterios para el POT.
- 5 subcriterios para otros suelos.

Se establecieron los siguientes subcriterios y se estableció nomenclatura para ellos.

El Criterio NTC 4595 (I) tiene como subcriterios:

- Cauces de ríos
- Cuerpos de agua
- Redes de alta tensión
- Vías de alta velocidad
- Vías férreas
- Estaciones de servicio
- Zonas de tolerancia
- Zonas industriales
- Vías de Acceso

- Servicios públicos
- Pendiente del terreno
- Distancia a otros colegios

El criterio de POT (II) tiene como subcriterio:

- Zonas inundables
- Zonas de reserva forestal y/o ambiental
- Zonas de remoción en masa
- Rellenos Sanitarios

Finalmente el criterio de otros suelos (III) tiene como subcriterios:

- Terminales de transporte
- Cementerios
- Zonas militares
- Zonas de seguridad
- Universidades

Seguido a esto, se buscaron bases de datos geográficas, imágenes, mapas, archivos tipo shapefile, entre otros, para desarrollar la metodología; como resultado de esta búsqueda se encontró material actualizado a 2016 en sitios web de la Alcaldía de Bogotá y una base de datos geográfica de la entidad IDECA [19] (Infraestructura de Datos Espaciales de la Capital) la cual es de acceso libre.

Luego se realizó un proceso de filtrado para depurar información que se ajuste a la legislación; la que se encontraba en mapas análogos o en imágenes fue sometida a un proceso de georreferenciación utilizando Magna Sirgas Colombia Bogotá (EPSG: 3116) como sistema de coordenadas, seguidamente, se realizó una serie de geoprocetos, los cuales dependían de la forma en la que, según la norma, los datos interactuaban con los equipamientos educativos (Ver: Figura 2).

Por último se aplicó el modelo matemático del Proceso de Análisis Jerárquico para finalmente realizar una superposición ponderada que muestre el resultado del estudio.

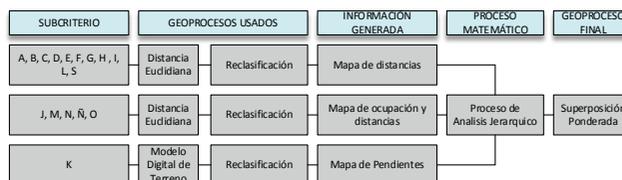


Figura 2 Procesamiento de datos para la metodología propuesta Fuente: Elaboración propia con base en [19]

La Figura 2 muestra el flujo de trabajo posterior al proceso que permite filtrar la información, el

geoproceso al que es sometido cada subcriterio, todos los subcriterios son sometidos a una reclasificación debido a que es allí donde se evalúan las alternativas (Ver Figura 3), que para el caso de los criterios I y II son definidos por la legislación y para el criterio III son definidos por los autores.

La figura también permite observar qué tipo de información se genera posterior a cada geoproceso individual de subcriterios, también muestra la integración del PAJ con un SIG al incorporarse la parte matemática con un geoproceso de superposición ponderada, que permite utilizar los resultados obtenidos por el PAJ en un SIG.

La Figura 3 indica que cada subcriterio posee alternativas de idoneidad diferentes, este resultado basado en la legislación no permite la agrupación de subcriterios, es decir, por ejemplo, la hidrología del área de estudio podría agruparse como un solo subcriterio al igual que la red vial y ciertas zonas de gestión del riesgo, pero, al existir alternativas diferentes para cada subcriterio es pertinente individualizarlos, incluso si la importancia de un subcriterio frente al otro es la misma y se le asigna en la MCP un valor de 1 se le da la importancia debida a la legislación y se evita caer en subjetividades que pueden ser causadas bien sea a la hora de la agrupación de subcriterios o de las alternativas.



CRITERIO	SUBCRITERIO	ALTERNATIVA		
I. NTC 4595		APTO	MODERADO	NO APTO
	A)	> 50m	30 – 50 m	0 – 30 m
	B)	> 150 m	100 – 150 m	0 – 100 m
	C)	> 100 m	64 – 100 m	0 – 64 m
	D)	> 100 m	60 – 100 m	0 – 60 m
	E)	> 50 m	20 – 50 m	0 – 20 m
	F)	> 100 m	60 – 100 m	0 – 60 m
	G)	> 750 m	500 – 750 m	0 – 200 m
	H)	> 750 m	500 – 750 m	0 – 500 m
	I)	0 – 500 m	500 – 750 m	> 750 m
	J)	Tener Servicio	Hasta 150 m	> 150 m
	K)	0° - 10°	10° - 15°	> 15°
	L)	< 1000	1000 – 1500 m	> 1500m
	II. POT	M)	No estar en la zona	Media - Baja
N)		> 200 m	Hasta 200 m de la zona	Dentro de la zona
Ñ)		No estar en la zona	Media - Baja	Alta
O)		> 500 m	Hasta 500 m de la zona	Dentro de la zona
P)		> 100 m	Hasta 100 m de la zona	Dentro de la zona
Q)		> 100 m	Hasta 100 m de la zona	Dentro de la zona
III. OTROS SUELOS	R)	> 200 m	A 200 m de la zona	Dentro de la zona
	S)	> 1000 m	1000 – 3000 m	> 3000 m
	T)	> 500 m	Hasta 500 m de la zona	Dentro de la zona

Figura 3 Definición de criterios, subcriterios y alternativas para el estudio. Fuente: Autores con base en [20], [21]

Una vez se tienen definidos los criterios, subcriterios y alternativas se crean las MCP con el fin de hallar los pesos de cada uno de ellos.

Inicialmente se elabora la MCP de los criterios, debido a que cada peso hallado para los subcriterios debe ser ponderado con el resultado de su criterio.

Se expondrá a continuación el resultado del RC para cada MCP, los resultados de la ponderación se mostrarán más adelante.

Tabla 3 Matriz de comparación por pares de los criterios I, II y III

	I	II	III
I	1,00	4,00	5,00
II	0,25	1,00	3,00
III	0,20	0,33	1,00
RC calculado = 0,08			

La Tabla 3 muestra que el RC para la MCP de criterios se encuentra por debajo del teórico 0,1 lo cual representa una medición aceptable para el estudio según la metodología propuesta.

Tabla 4. Matriz de comparación por pares de los subcriterios del criterio I

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
B	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	3,0
C	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,2	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
D	0,5	0,5	2,0	1,0	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,5	0,5	0,3
E	0,5	0,3	1,0	2,0	1,0	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5
F	0,5	0,5	5,0	4,0	3,0	1,0	1,0	0,2	0,3	0,5	0,5	3,0
G	0,5	0,5	2,0	3,0	2,0	1,0	1,0	0,3	0,5	0,5	0,5	2,0
H	1,0	1,0	3,0	6,0	3,0	5,0	3,0	1,0	0,3	0,5	2,0	3,0
I	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	1,0	0,5	3,0	4,0
J	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0
K	0,5	0,5	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	0,5	0,3	0,5	1,0	2,0
L	0,5	0,3	2,0	4,0	2,0	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	1,0
RC calculado = 0,01												

Tabla 5 Matriz de comparación por pares de subcriterios del criterio II

	M	N	Ñ	O
M	1,0	1,0	1,0	1,0
N	1,0	1,0	2,0	0,5
Ñ	1,0	0,5	1,0	1,0
O	1,0	2,0	1,0	1,0
RC calculado = 0,07				

**Tabla 6 Matriz de comparación por pares de subcriterios del criterio III**

	P	Q	R	S	T
P	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
Q	2,0	1,0	2,0	0,5	0,5
R	2,0	0,5	1,0	0,5	1,0
S	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0
T	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0
RC calculado = 0,04					

Las tablas 4, 5 y 6 muestran buenos grados de consistencia a pesar de que [22] afirma que la cantidad de criterios que se analizan en la MCP no debería ser superior a nueve, ya que entre mayor número de criterios de comparación, menor es la consistencia. En [23] se analiza cómo a una mayor cantidad de criterios se genera una mejor consistencia de los tomadores de decisiones, si bien, la finalidad de este documento no es analizar las variabilidades de los radios de consistencia, es notable como en la matriz de la tabla 4 posee un muy buen RC y es esta la que presenta mayor cantidad de criterios comparados, confrontando las tablas 5 y 6 se observa un mejor RC cuando se comparan más criterios y sí se tienen en cuenta todos los RC de las MCP se observa que entre menor es el número de criterios es menor la consistencia.

Como el RC que se ha calculado para las diferentes MCP es menor al 0,1 establecido teóricamente, se concluye que los criterios y subcriterios analizados, así como su posterior ponderación cumplen con los requisitos para el objetivo del estudio.

## Resultados

**Tabla 7 Resultados del análisis multicriterio**

Nombre	Criterios (C)			Subcriterios (SC)																					
	I	II	III	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Ñ	O	P	Q	R	S	T	
Peso	67	23	10	7	7	3	3	3	3	5	4	9	9	8	5	4	5	6	5	7	1	2	2	3	2
Σ	100			100																					

Como resultado de esta integración entre PAJ y SIG se obtuvo que para el criterio I tenían mayor importancia los terrenos que estén alejados de las zonas industriales, tengan vías de acceso y servicios públicos (CI; SC-H, SC-I ver: Tabla 7), este resultado es ideal ya que los equipamientos colectivos normalmente se localizan cerca del mercado que desea abarcar, en vista del impacto que ejerce la distancia sobre el comportamiento de los demás agentes económicos [24]; por otra parte sin vías de acceso y sin servicios públicos no es posible tener esta clase de equipamientos, debido a que ambos son indispensables para el bienestar social y de apoyo al desarrollo [25].

En el criterio II se observó que existe una importancia similar, todo esto dado que los parámetros establecen zonas de alta importancia ambiental y de bienestar (CII; SC-N, SC-O ver: Tabla 7), en este criterio existe una leve importancia de los rellenos sanitarios, ya que impactan negativamente el ambiente debido a partículas contaminantes en el aire, generación de gases invernadero y generación de líquido lixiviado que puede contaminar fuentes de agua [26].

Por último para el criterio III (CIII; SC-S ver: Tabla 7) se evidencia una importancia mayor para las zonas de seguridad.

La Imagen 1 muestra el mapa del área urbana de la ciudad de Bogotá, D.C. y los resultados del proceso en las tres alternativas que se tuvieron en cuenta: en tono verde las zonas aptas y/o idóneas con un total de 10092.68 Ha (26.81%), en tono amarillo aquellas zonas que son moderadamente aptas las cuales ocupan un total de 2829.7 Ha (7.51%) y las zonas que no son aptas, las cuales alcanzan una extensión de 24715.94 Ha (65.66%) del total del área urbana de la ciudad.

Se observa como en la zona industrial al igual que las zonas periféricas del aeropuerto internacional El Dorado existen grandes extensiones de terreno que no son aptas; también se observa que en el cerro de la localidad de Suba y en la zona sur oriental donde las pendientes son pronunciadas no se presentan mayores terrenos aptos, al igual que en las principales avenidas de la ciudad, el relleno sanitario Doña Juana, y zonas de remoción en masa. Las formas circulares que se observan en algunos lugares del mapa corresponden a los radios o zonas de influencia a 500 metros de cada institución educativa.

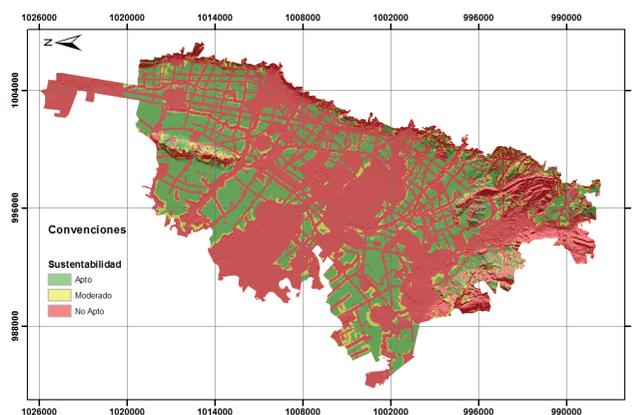


Imagen 1 Mapa de idoneidad del suelo

## Discusión

Identificar la mayor cantidad de criterios y subcriterios asociados en casos en que intervenga legislación; así como también tener la suficiente información disponible es de vital importancia, pues así se logran mejores resultados; se sugiere al igual que [22] no sobrepasar los nueve criterios; pero, en este artículo se tomó la decisión de exceder dicho número debido a la legislación por la cual se rigen los criterios I y II, sin embargo, se debe considerar cómo en este caso a mayor número de criterios analizados en la MCP el RC es mayor, estos resultados pueden servir como soporte para futuros análisis basados en MCP.

Es de vital importancia verificar el RC debido a que este determina como está establecida la MCP, que sus valores son coherentes y se eliminan subjetividades.

Las zonas idóneas pueden cambiar dependiendo de los valores establecidos en la MCP, ya que se aplica una metodología a una decisión subjetiva basada en la lógica de la persona que toma la decisión basada en su experiencia.

Criterios como la estratificación no fueron tenidos en cuenta para facilitar el estudio, se sugiere en trabajos futuros tenerla en consideración, dado que la demanda de equipamientos educativos puede depender de dicho criterio, en este caso una modelación de localización-asignación en un ambiente SIG puede lograr resultados más puntuales, se propone, tener en cuenta previamente un análisis multicriterio.

Otros criterios como la existencia de establecimientos comerciales, no fueron tenidos en cuenta debido a que existen establecimientos deseables y no deseables [27].

Tampoco se tuvieron en cuenta condiciones de contaminación del aire, debido a que no se encontró información al respecto.

## Conclusiones

El estudio se ajusta a los usos del suelo de la ciudad de Bogotá; por tanto tomar en cuenta los mismos criterios, subcriterios y/o valores de matriz de comparación por pares para otras regiones no es recomendable, ya que se debe tener en cuenta diferentes criterios ambientales, sociales e incluso culturales; sirve como primer intento para las autoridades competentes en la identificación de idoneidad del suelo, tanto para equipamientos

educativos distritales sino como para cualquier tipo de equipamiento o servicio, incluso para modificaciones de usos del suelo, ya sean de carácter urbanístico, paisajístico, ambiental, social, entre otros.

Debido a la sencillez y versatilidad que tiene la metodología aplicada, esta ayuda en el proceso de planeación, planificación e identificación de zonas idóneas para la localización de equipamientos, teniendo en cuenta parámetros ambientales, urbanísticos y legales.

La integración de PAJ y SIG no solo permite realizar el desarrollo matemático, si no también observar de manera real en el sitio de estudio cuales son las zonas idóneas.

El uso de legislación para el análisis brinda una justificación jurídica a los criterios usados.

Aunque el RC es muy importante en este tipo de estudios no se recomienda interferir en el proceso de la creación de la MCP, este artículo solo presenta una MCP por nivel jerárquico o por criterios. En caso que se requiera encuestas y múltiples expertos en toma de decisión para el proceso de la creación de las MCP, es importante analizar los RC por separado y mostrar los resultados en un ambiente SIG que pueda revelar las consistencias o inconsistencias de mejor manera.

Se encuentra que de los 904 colegios registrados en la base de datos un total de 353 (39.04%) se encuentra en zonas aptas, 113(12.51%) en zonas moderadamente aptas y 438 (48.45%) se encuentran en zonas no aptas, estos resultados se obtuvieron sin tener en cuenta la distancia a otros colegios, lo cual comprueba la falta de planeación y estudios previos a la hora de la localización de estos equipamientos mencionada anteriormente.

## De los autores

**Hector Ricardo Patiño Rivera:** Estudiante Ingeniería Catastral y Geodesia – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. [hrrpatinor@correo.udistrital.edu.co](mailto:hrrpatinor@correo.udistrital.edu.co)

**Adriana Lorena León Gallo:** Estudiante Ingeniería Catastral y Geodesia – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. [alleong@correo.udistrital.edu.co](mailto:alleong@correo.udistrital.edu.co)

**Miguel Antonio Ávila Angulo:** Ingeniero Catastral y Geodesta – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia - Licenciado en Física – Universidad Pedagógica Nacional – Colombia. Especialista en Sistemas de Información Geográfica – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – Magister en Ciencias de la Información Énfasis en Geomática – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Profesor Facultad de Ingeniería – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – [maavila@udistrital.edu.co](mailto:maavila@udistrital.edu.co)

## Referencias

- [1] Concejo de Bogotá, «Acuerdo 645.» 09 06 2016. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=66271>.
- [2] Secretaría de Educación, Oficina de Planeación, «Caracterización del Sector Educativo.» Bogotá, 2015.
- [3] Organización de Naciones Unidas, «World Urbanization Prospects Annual Revision.» Naciones Unidas, Nueva York, 2014.
- [4] Secretaria de Planeación Distrital, «Proyecciones.» 2016. [En línea]. Available: <http://www.sdp.gov.co/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ProyeccionPoblacion>.
- [5] R. Guptha y H. Puppala, «Integratin Fuzzy AHP and GIS to Prioritize Sites for the Solar Plant Installation.» de International Conference on Fuzzy Systems and Knowlege Discovery (FSKD), 2015.
- [6] N. Rodríguez, La equidad espacial en la distribución del servicio educativo (1999-2009), Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [7] S. Kalogirou, «Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation.» Computers, Environment and Urban Systems, vol. 26, n° 2-3, pp. 89-112, 2002.
- [8] S. Mahmoud y A. .. Alazba, «Integrated remote sensing and GIS-based approach for deciphering groundwater potencial zones in the central regios of Saudi Arabia.» Environmental Earth Sciences, vol. 75, n° 4, p. 344, 2016.
- [9] Y. Xu, J. Sun, J. Zhang, Y. Xu, M. Zhang y X. Liao, «Combining AHP with GIS in sythetic evaluation of enviromental suitability for living in China's 35 major cities.» International Journal of Geographical Information Science, vol. 26, n° 9, pp. 1603-1623, 2012.
- [10] A. K. Mishra, S. Deep y C. Abhishek, «Identification of suitable sites for organic farming using AHP & GIS.» The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, vol. 18, n° 2, pp. 181-193, 2015.
- [11] S. Khahro, A. Matori, I. Chandio y M. Talpur, «Land suitability analysis for installing new petrol filling stations using GIS.» de Fourth International Symposium on Infrastructure Engineering in Developing Countris, IEDC 2013, Karachi, Pakistan, 2014.
- [12] D. Samari, H. Azadi, K. Zarafshani, G. Hosseininia y F. Witlox, «Determining appropriate forestry extension model: Application of AHP in the Zagros Area, Iran.» Fores Policy and Economics, vol. 15, n° 1, pp. 91-97, 2012.
- [13] S. A. Berumen y F. Llamazares Redondo, «La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad creciente.» Cuadernos de Administración, vol. 20, n° 34, pp. 65-87, 2007.
- [14] K. Young, D. Kibler, B. Benham y G. Loganathan, «Application of the Analytical Hierarchical Process for Improved Selection of Storm-Water BMPs.» Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 135, n° 4, pp. 264-275, 2009.
- [15] T. Saaty, de The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation, McGraw-Hil, 1980.
- [16] I. S. Mustafa, N. M. Din, A. Ismail, R. Omar y N. Khalid, «Antenna Placement for Landslide Monitoring Using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographical Information System (GIS).» de IEEE Symposium on Wirelsss Technology and Applications (ISWTA),, Kuching, Malasia, 2013.
- [17] T. Saaty, «Decision making with the analytic hierarchy process.» International journal of services sciences, vol. 1, n° 1, pp. 83-98, 2008.
- [18] J. Aguarón y J. Moreno, «The geometric consistency index: Approximated thresholds.» European Journal of Operational Research, vol. 147, n° 1, pp. 137-145, 2003.
- [19] C. Zafra, F. Mendoza y P. Montoya, «Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica. Un caso regional colombiano.» Ingeniería e investigación, vol. 32, n° 1, pp. 64-70, Abril 2012.
- [20] Ministerio de Educación Nacional, «Norma técnica colombiana NTC 4595-4596.» [En línea]. Available: <http://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-96894.html>.
- [21] Secretaria Distrital de Planeación, «Cartografía.» [En línea]. Available: [http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT\\_2020/Cartografia](http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT_2020/Cartografia).
- [22] T. Saaty, «How to make a decision: The analytic hierarchy process.» European Journal of Operational Research, vol. I, pp. 9-26, 1990.
- [23] L. A. Builes y L. Lotero, «Análisis y variabilidad de la consensia en un proceso jerárquico de toma de decisiones ambientales.» de Congreo Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa, Río de Janeiro, 2012.
- [24] M. Polése, Economía urbana y regional. Introducción a la relación entre territorio y desarrollo, Cartago: Ucol, 1998.
- [25] M. Ramírez, «¿Dónde localizar hospitales públicos? Las nuevas tecnologías -SIG- como herramientas de apoyo a la planificación territorial. Un caso de estudio aplicado a la Provincia del Chaco-Argentina.» Serie Geográfica, n° 10, pp. 133-142, 2002.
- [26] K. Lai, L. Li, S. Mutti, R. Staring, M. Taylor, J. Umali y S. Pagsuyoin, «Evaluation of waste reduction and diversion as alternatives to landfill disposal.» de Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), Charlottesville, 2014.
- [27] J. Bosque Sendra y A. Moreno Jiménez, Sistemas de Información Geográfica y Localización optima de instalaciones y equipamientos, Madrid: RA-MA, 2012.
- [28] IDECA, «Mapa de Referencia.» 06 2016. [En línea]. Available: <http://www.ideca.gov.co/es/servicios/mapa-de-referencia/tabla-mapa-referencia>.

# Alternativas de solución al envenenamiento del Protocolo ARP en entornos LAN

## Alternative solutions to Poisoning the ARP protocol in LAN environments

Oscar Leonardo Cely Granados<sup>1</sup>  
Octavio José Salcedo Parra<sup>2</sup>  
Jorge E. Salamanca Céspedes<sup>3</sup>



### Resumen

En el presente artículo se presentan algunos fallos de seguridad del protocolo ARP reflejando su vulnerabilidad a diversos tipos de ataques dando lugar a fugas y/o daños de información, se han presentado diversas soluciones factibles en las cuales se encuentran S-ARP (secure ARP), ES-ARP (Secure and efficient ARP) y como alternativa de solución planteamos la creación de algoritmos que permitan detectar y mitigar ataques mediante el uso de Registros Estáticos en la Tabla ARP, como objetivo queremos resolver algunos fallos en la seguridad de ARP cambiando y mejorando los protocolos originales de este realizando las configuraciones que se creen factibles para mejorar su seguridad, en este artículo se realizará un envenenamiento ARP utilizando las herramientas VMware y GNS3 que nos permiten virtualizar un entorno real con el fin de mostrar la inseguridad que posee el protocolo ARP y así mismo implementar una alternativa económica y eficiente que mejore su seguridad.

**Palabras clave:** fallos de seguridad, Registros Estáticos, envenenamiento ARP, alternativa económica y eficiente.

### Abstract

The following article represents certain weakness in the safety of the Protocol ARP which leaves a door open to information failures. Therefore, some solutions such as S-ARP (Secure ARP), ES-ARP (Secure and efficient ARP) have been considered, including as an alternative, the creation of algorithms which are able to detect and reduce attacks through the use of static records in the ARP table.

The main goal is address serious shortcomings and weaknesses in the ARP security, changing and improving the original protocols through the necessary settings.

In the following article, the protocol ARP will be poisoned; using resources such as VMware and GNS3 we will be able to visualize a real environment in order to demonstrate the insecurity that belongs to the Protocol to the protocol ARP as well as the introductions of an efficient and economical alternative capable to improve it's security.

**Keywords:** S-ARP (Secure ARP), ES-ARP (Secure and efficient ARP), interaction, economical and efficient alternative.

1 [ing.oscar.dba@gmail.com](mailto:ing.oscar.dba@gmail.com)  
2 [osalcedop@udistrital.edu.co](mailto:osalcedop@udistrital.edu.co)  
3 [jsalamanca@udistrital.edu.co](mailto:jsalamanca@udistrital.edu.co)

## Introducción

Address Resolution Protocol (ARP) parece un protocolo sencillo, aunque los detalles que este presenta hacen que este se complique. “Muchas implementaciones no interpretan la especificación del protocolo y otras suministran enlaces incorrectos debido a que eliminan el tiempo de espera de la cache en un intento de mejorar la eficiencia” (comer, 2000).

Podemos decir que el protocolo ARP funciona principalmente en tres partes, la primera que devuelve un enlace que es empleado por la interfaz de red para encapsular y transmitir el paquete, la segunda un módulo que maneja los paquetes ARP que llegan de la red y actualizan la cache ARP agregando nuevos enlaces, y por último un administrador que implementa la política de sustitución de cache que examina las entradas en la cache y las elimina cuando alcanzan un determinado tiempo. Cuando una respuesta ARP es solicitada, esta se puede cambiar (dirección MAC), por una falsa, y atacando así el sistema, esto se llama envenenamiento ARP. Derivado al envenenamiento se han buscado alternativas que vuelvan el protocolo seguro, una de ellas es S-ARP está basado en una extensión del protocolo ARP y se introduce un conjunto de funcionalidades que permiten una comprobación de autenticidad y la integridad del contenido de las respuestas ARP, usando criptografía asimétrica. También existe ES-ARP que se guía principalmente por el mayor problema de ARP que es el hecho de que esta es totalmente confiable, ya que no diferencia entre los mensajes recibidos y confía en que haya recibido respuestas a ciegas, ya que es un protocolo sin estado y no lleva ninguna información con respecto a las solicitudes que envía o las respuestas que recibe, este “bucle” es aprovechado por los atacantes para enviar respuestas falsificadas para que sean aceptadas por la ARP y terminen envenenando la caché ARP. Estos dos protocolos todavía no han sido implementados, ya que ambos consideran costos sumamente altos ya sean en software como ES-ARP, que al enviar dos mensajes de confirmación de los paquetes de datos, hace que este método de autenticación sea más lento de lo normal, lo que hace que la eficiencia disminuya, de otro lado la implementación de S-ARP, es mucho más cara, si se lleva a cabo en una red con muchos hosts.

## Address Resolution Protocol (ARP)

Address Resolution Protocol (ARP) es un protocolo sin estado, es decir, una respuesta puede ser procesada a pesar de que la solicitud correspondiente nunca

fue recibida, cuando se recibe una respuesta, se actualiza la entrada correspondiente en la memoria cache, con la dirección lógica IP, y la dirección física MAC en la respuesta. Un ARP es un mensaje enviado por un host que solicita la dirección MAC de su propia dirección IP, esta se envía de una máquina a otra con la misma o diferente red. ARP reside en la capa de red de la suite TCP/IP, donde un host se identifica por su dirección IP de 32 bits, y por la dirección MAC que sigue un esquema de 49 bits.

Cuando la capa de red recibe un mensaje de las capas superiores se comprueba la dirección IP de la máquina de destino. Si la máquina de destino está en la misma red local que el de la máquina fuente, el mensaje puede ser enviado directamente a la máquina de destino, pero por el contrario si no está en una red local el mensaje tiene que ser encaminado a través de un router. Para enviar el mensaje directamente a la máquina de destino, la capa de red necesita saber la dirección MAC de la máquina de destino. ARP asigna dinámicamente la dirección IP de 32 bits de una máquina a su dirección MAC de 48 bits en un espacio de memoria temporal denominada caché ARP. Existen dos tipos de mensajes ARP que pueden ser enviados por el protocolo ARP, uno es solicitud ARP y otro es respuesta ARP.

**Solicitud ARP:** cuando se hace la solicitud ARP mediante un host, se enmarca la dirección IP, dirección MAC, tipo de mensaje ARP y la dirección IP de destino. Donde esta petición se difunde a todos los hosts de la misma LAN que el envío de acogida, el campo de la dirección MAC de destino se deja en blanco para el host con la dirección IP de destino para rellenarla.

**Respuesta ARP:** cuando un host recibe la solicitud ARP que contiene la dirección IP, como la dirección IP de destino, se llena con dirección MAC y el campo de operación se establece en el código de operación de la respuesta ARP, este mensaje es enviado directamente a la máquina solicitante. Cuando la respuesta ARP es recibida por la máquina solicitante actualiza su cache ARP con la dirección MAC solicitada.

ARP	ES-ARP
1. Máquina A desea enviar un paquete a D, pero A sólo conoce la dirección IP de D.	1. máquina A desea enviar un paquete a D, pero A sólo conoce la dirección IP de D.
2. Máquina A difunde ARP Solicitud con la dirección IP de D.	2. Máquina A difunde ARP Solicitud con la dirección IP de D.
3. Todas las máquinas de la red local recibe la solicitud ARP que se emite.	3. Todas las máquinas de la red local reciben la solicitud ARP que se transmitió y actualizan su caché ARP con la dirección MAC de A.

4. Máquina D responde con su dirección MAC unicast de ARP respuesta y actualiza su caché ARP con la MAC de A.	4. Máquina D responde con su dirección MAC mediante la difusión de respuesta ARP.
5. Máquina A agrega la dirección MAC de D a su caché ARP.	5. Todas las máquinas añaden la dirección MAC de D a su caché ARP.
6. Ahora la Máquina A puede ofrecer paquetes directamente a D.	6. Ahora la Máquina A puede ofrecer paquetes directamente a D.

Tabla 1: procedimientos de solicitud y respuesta de ARP Y ES-ARP. Fuente Autores.

Al forjar una respuesta ARP, un atacante puede cambiar fácilmente la asociación mantenida en la memoria cache ARP de acogida, es decir, puede cambiar la dirección MAC por una falsa (respuesta falsa) enviando mensajes IP encapsulados con esta dirección falsa. De esta manera el atacante podrá recibir todos los marcos originalmente dirigidos a otro host. Una vez los hosts estén envenenados, estos enviarán todo el tráfico al host atacante que podrá leerlos, y si este decide reenviarlos de vuelta los hosts atacados no detectarán que están siendo atacados. Este es un ataque MITM (man in the middle). Otro ataque a esta red es el DoS (denial of service) y es cuando el atacante no reenvía los mensajes después de leerlos, a la máquina de destino y esto se denomina ataque de negación de servicio.

## ES-ARP

ES-ARP se guía principalmente por el mayor problema de ARP que es el hecho de que esta es totalmente confiada, ya que no diferencia entre los mensajes recibidos y confía en que haya recibido respuestas a ciegas, debido a que es un protocolo sin estado y no lleva ninguna información con respecto a las solicitudes que envía o las respuestas que recibe, este “bucle” es aprovechado por los atacantes para enviar respuestas falsificadas para que sean aceptadas por ARP y terminen envenenando la caché ARP.

Así que ES-ARP implementa un método de tal manera que la “respuesta ARP y la solicitud ARP es transmitida, y va almacenando la información de la trama de solicitud en la cache ARP. En este protocolo todos los hosts excepto el host de origen almacenarán las entradas en la caché ARP” (Md. Atullah, N. Chauhan). En la tabla 1 podemos observar los pasos de solicitud y respuesta de ARP y ES-ARP, la cual nos muestra algunas diferencias que se tuvieron en ES-ARP para mejorar la seguridad de los datos que se envían en ARP, como hacer que todas las máquinas de la red local reciban la solicitud ARP que se transmitió y actualizar inmediatamente su cache ARP con la dirección MAC del dispositivo de origen, para comprobarla en su cache ARP y

comprobar si la entrada de host de destino esta presente o no, lo que hace que de una vez se guarde la dirección MAC y no permite que la falsifiquen impidiendo así que puedan envenenar la ARP, y esta logre ser más segura, ya que solo la fuente de acogida aceptara la respuesta, de lo contrario será simplemente descartar la trama de respuesta ARP. Este procedimiento actualiza la memoria cache ARP dos veces, es decir, la primera vez que se emite la petición ARP donde se almacenará la IP y la MAC del host de origen, y la segunda vez cuando Respuesta ARP se emite o sea la IP y la MAC del host de destino se almacenarán.

## S-ARP

S-ARP está basado en una extensión del protocolo ARP y se introduce un conjunto de funcionalidades que permiten una comprobación de autenticidad y la integridad del contenido de las respuestas ARP, usando criptografía asimétrica. Además también sigue las mismas especificaciones de ARP, para que sea compatible con esta y solo se inserta un encabezado final de los mensajes estándar de protocolo para llevar la información de autenticación, ósea que S-ARP no aceptara mensajes no autenticados (a menos de que se encuentren en una lista de hosts conocidos). S-ARP lleva en la respuesta ARP un encabezado S-ARP, y las solicitudes ARP no cambian. El encabezado S-ARP contiene la firma digital del remitente, una marca de tiempo, el tipo y la longitud del mensaje, el mensaje se autentifica buscando la dirección IP del remitente y su clave pública correspondiente en su anillo (ya que cada host mantiene un anillo de claves públicas y las direcciones IP correspondientes previamente solicitadas por las AKD (Authorizedkeydealer), si la entrada utiliza el contenido para verificar la firma, de lo contrario, envía una petición a la AKD para la certificación. Una petición al AKD se envía también en caso de que la clave en el anillo local no verifique la firma, puesto que ya no puede ser válida. En este caso, el paquete en cola es una “lista respuestas pendientes”. El AKD envía una respuesta firmada con la clave pública solicitada y la corriente de sello de tiempo. Al recibir la respuesta de la AKD, el anfitrión sincroniza el reloj local con el sello de tiempo, si es necesario, almacena la clave pública en su anillo y verifica la firma. En caso de que la clave antigua ya no sea válida, si la nueva clave recibida de la AKD es la misma que la que está en la memoria caché, la respuesta se considera no válida y se deja caer. Si la clave ha cambiado de hecho, el host actualiza su caché y verifica la firma con la nueva clave.

## Arquitectura de red

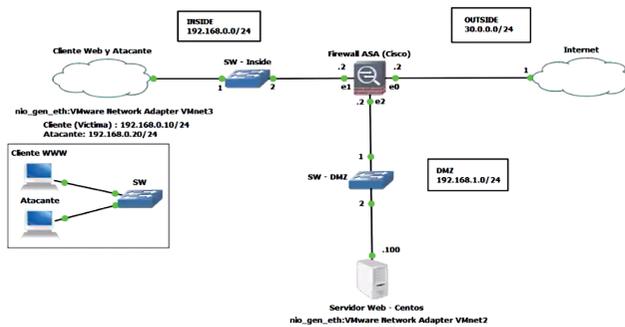


Figura 1. Arquitectura básica de una de red LAN. Fuente Autores.

## Metodología

En la figura 1, se muestra una arquitectura básica de un entorno de producción, la red está dividida en tres segmentos un segmento INSIDE donde están dos máquinas virtuales una es el host del cliente que utilizara un sistema operativo CENTOS y el host del atacante que estará en una máquina virtual KALI LINUX, ambos conectados a un Switch y al adaptador VMnet3 de VMware, tanto el cliente web como el atacante están conectados a un Switch al que llamamos SW-Inside. Tenemos un segundo segmento al que llamamos DMZ donde encontramos un servidor web con CENTOS y el servidor APACHE 2 este hace uso del adaptador VMnet2 de VMware y conectado al Switch SW-DMZ que será expuesto hacia otras redes y por ultimo nuestro tercer segmento OUTSIDE que se conecta a redes externas, en este caso internet.

En el centro de la arquitectura encontramos un firewall, para la implementación de este firewall usamos la herramienta GNS3 la cual nos permite cargar y configurar la imagen de diferentes equipos de conectividad que encontramos en el mercado con todas sus propiedades y características, cabe resaltar que esta herramienta consume gran cantidad de recursos del equipo anfitrión pero como beneficio obtenemos un equipo de conectividad real con todas sus funciones.

Con base en esta arquitectura de red, la cual virtualiza un entorno real interceptaremos desde el host atacante la comunicación que se establece entre el cliente y el servidor web poniendo en evidencia fallas en la seguridad del protocolo ARP. Posteriormente se implementará un algoritmo de mitigación que genera un registro estático que impida el envenenamiento de ARP.

## Implementación

1. Utilizando la herramienta VMware montamos y configuramos la ISO de nuestra máquina virtual cliente (Centos), atacante (Kali Linux) y servidor web (Centos, apache2) con sus respectivas direcciones IP y direcciones Mac, configuramos nuestro Firewall (Router ASA-Cisco) con GNS3 al igual que los Switch y los Host que interactúan en nuestra red de tal manera que nuestra configuración final sea la mostrada en la figura 1.

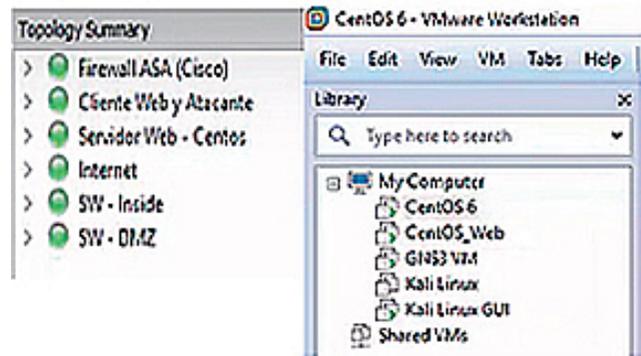


Figura 2. Componentes de Red en GNS3 y VMware necesarios para el ejercicio. Fuente Autores.

2. En nuestra máquina virtual atacante (Kali Linux) se instalará una herramienta llamada Bettercap la cual permite realizar ataques de tipo ARP SPOOF es decir que al realizar el ataque podremos observar todo el tráfico que se genera entre el servidor web y el cliente. Dado que hemos configurado un servidor web apache en el cual se alojaran un conjunto de páginas web cuando.

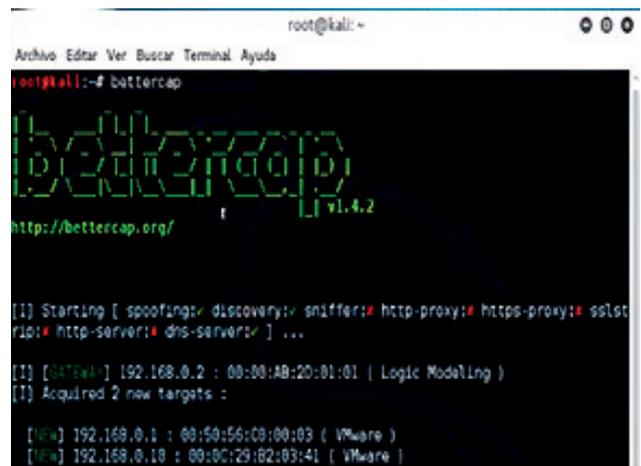
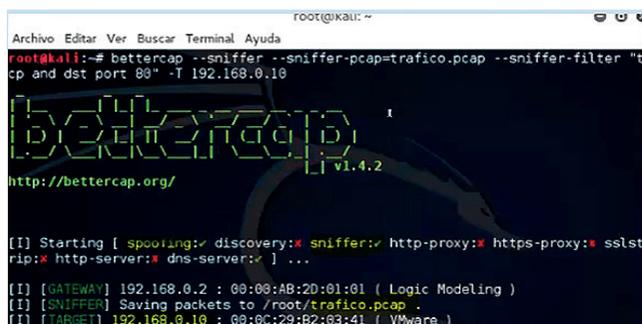


Figura 3 Herramienta Bettercap. Fuente Autores.

El cliente haga una petición al servidor web este le presentara las páginas web alojadas en él.

3. Si en nuestra terminal Linux se ejecuta únicamente el comando `bettercap` este empezará a capturar todo el tráfico que exista en la red, ahora dadas las condiciones se va a filtrar nuestro ataque especificando que capture solo el tráfico de tipo http que se está generando por el puerto 80 entre la dirección IP del cliente 192.168.0.10 y el servidor web y que lo guarde en un directorio al que se llamará `trafico.pcap`, para eso ejecutamos la siguiente sentencia:

```
root@kali:~# bettercap --sniffer -sniffer-pcap=trafico.pcap -sniffer-filter "tcp and dst port 80" -T 192.168.0.10
```



```
root@kali:~# bettercap --sniffer --sniffer-pcap=trafico.pcap --sniffer-filter "tcp and dst port 80" -T 192.168.0.10
[+] Starting [ spoofing:✓ discovery:× sniffer:✓ http-proxy:× https-proxy:× sslst-rip:× http-server:× dns-server:× ] ...
[+] [GATEWAY] 192.168.0.2 : 00:00:AB:2D:01:01 ( Logic Modeling )
[+] [SNIFFER] Saving packets to /root/trafico.pcap .
[+] [TARGET] 192.168.0.10 : 00:0C:29:B2:03:41 ( VMware )
```

Figura 4. Ejecución del `bettercap` especificando nuestra victima. Fuente Autores

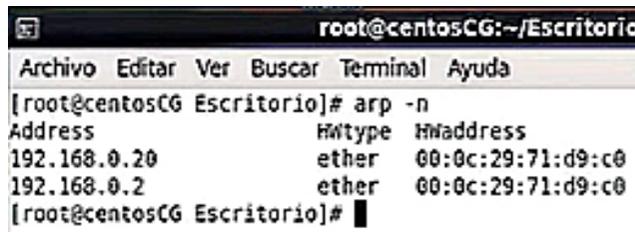
Como se refleja en la figura 4 vemos que al ejecutar la sentencia se activa el modo spoofing el modo sniffer y el modo dns-server. Lo primero que la aplicación realiza es capturar el Gateway de la red segundo el Sniffer guarda los paquetes que viajan por la red en el archivo `trafico.pcap` y por último el target confirma el cliente que vamos a atacar.

En este estado la aplicación ya realizó el ataque de tipo ARP SPOOF, es decir ya duplico la dirección MAC para que todo el tráfico que cruce entre el cliente y el servidor se replique hacia el atacante. Para el cliente un ataque de tipo ARP SPOOF es transparente a diferencia de un ataque de denegación de servicio en donde se puede ver claramente que los recursos empiezan a consumirse rápidamente, en pocas palabras el ataque tuvo éxito y en el cliente todo sigue funcionando normalmente.

### Detección de ataques Arp Spoof

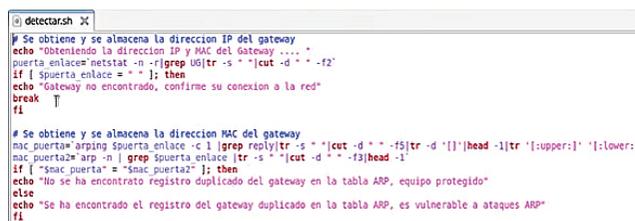
**Detección Manual.** Para esto se puede abrir la consola del cliente con la sentencia `arp -n`, se abre la tabla ARP y se puede observar que existe una dirección duplicada, la del Gateway y la del atacante, y cómo se puede observar ambas tienen

la misma dirección MAC, con esto todo el tráfico que devuelve el servidor se replica tanto al cliente como al atacante. Es un método que a pesar de ser bastante efectivo para ver si estamos sometidos a un ataque ARP SPOOF no sería lo óptimo ya que tendríamos que estar ejecutando el comando `arp -n` con regularidad.



```
root@centosCG:~/Escritorio
[root@centosCG Escritorio]# arp -n
Address          HWtype  HWaddress
192.168.0.20     ether   00:0c:29:71:d9:c0
192.168.0.2      ether   00:0c:29:71:d9:c0
[root@centosCG Escritorio]#
```

Figura 5. Tabla ARP Fuente Autores



```
detectar.sh
# Se obtiene y se almacena la direccion IP del gateway
echo "Obteniendo la direccion IP y MAC del gateway ..."
puerta enlace=$(netstat -n -f|grep U0|tr -s " " |cut -d " " -f2)
if [ $puerta enlace = " " ]; then
echo "Gateway no encontrado, confirme su conexion a la red"
break
fi

# Se obtiene y se almacena la direccion MAC del gateway
mac puerta=$(arping $puerta enlace -c 1 |grep reply|tr -s " " |cut -d " " -f5|tr -d "[]" |head -1|tr "[:upper:]" "[:lower:]")
mac puerta2=$(arp -n | grep $puerta enlace |tr -s " " |cut -d " " -f3|head -1)
if [ "$mac puerta" = "$mac puerta2" ]; then
echo "No se ha encontrado registro duplicado del gateway en la tabla ARP, equipo protegido"
else
echo "Se ha encontrado el registro del gateway duplicado en la tabla ARP, es vulnerable a ataques ARP"
fi
```

Figura 6. Algoritmo `Detectar.sh` (Código libre). Fuente Autores.

Detección Automática mediante la ejecución del algoritmo `detectar.sh`. El algoritmo primero obtiene tanto la dirección IP del Gateway como de la puerta de enlace, para esto se usa el comando `netstat` el cual arroja la tabla de enrutamiento y allí el algoritmo identifica la dirección IP del Gateway y la selecciona si no encuentra nada arroja un mensaje que pide que confirme su conexión de red. Luego con el comando `arping` obtenemos la dirección MAC asociada a la dirección ip del Gateway que obtuvimos en el paso anterior. Por último el algoritmo verifica si existe duplicidad de esos registros en la tabla ARP, si existe arroja el mensaje de alerta diciéndome que el registro del Gateway esta duplicado por lo tanto se encuentra sometido a un ataque ARP SPOOF y si no está duplicado el equipo está protegido.

### Mitigación como alternativa de solución al envenenamiento del protocolo ARP

Esta práctica de seguridad tiene como objetivo evitar que terceros tengan acceso a la información que viaja en el tráfico establecido en una comunicación, para esto se desarrolló un script en Linux basado en el principio de creación de registros estáticos en la tabla ARP. Cuando se crea un registro estático lo que se hace es especificar quien va a ser nuestro Gateway y a pesar de que se creen nuevos registros para engañar al cliente la información siempre va a ir únicamente al Gateway del cliente.

```

mitigar.sh
# Script para evitar el ataque de envenenamiento de ARP
clear

# A fin de eliminar los registros de la tabla ARP se reinicia el servicio de red
service network restart

# Se obtiene y se almacena la dirección IP del gateway
echo "Obteniendo la dirección IP y MAC del Gateway ...."
puerta_enlace=$(netstat -n |grep UG|tr -s " " |cut -d " " -f2)
if [ $puerta_enlace = " " ]; then
echo "Gateway no encontrado, confirme su conexión a la red"
break
fi

# Se obtiene y se almacena la dirección MAC del gateway
mac_puerta=$(arping $puerta_enlace -c 1 |grep reply|tr -s " " |cut -d " " -f5|tr -d "[]" |head -1)
echo "IP del Gateway: $puerta_enlace MAC: $mac_puerta"
echo "Estableciendo registro estatico en la tabla ARP"
sleep 3
# Se registra de manera estatica la dirección IP y la MAC del gateway para evitar el ataque
arp -s $puerta_enlace $mac_puerta
sleep 2
arp -n | grep $puerta_enlace
echo "Protegido contra ataques ARP"
    
```

Figura 7. Algoritmo Mitigar.sh Fuente Autores (Código libre)

El algoritmo se basa en el anterior descrito algoritmo de detección es decir inicia obteniendo tanto la dirección ip de la puerta de enlace como la MAC de la puerta de enlace y simplemente lo que hace es tomar esas dos variables y ejecutar el comando arp -s que establece registros estáticos y como variables asigna la dirección ip de la puerta de enlace y la dirección Mac. Con ello crearemos el registro estático y evitaremos los ataques de ARP SPOOF

```

root@centosCG:~/Escritorio
Interrupción de la interfaz eth0: Estado de dispositivo: 3 (desconectado)
Interrupción de la interfaz de loopback: [ OK ]
Activación de la interfaz de loopback: [ OK ]
Activando interfaz eth0: Estado de conexión activa: activada
Ruta de conexión activa: /org/freedesktop/NetworkManager/ActiveConnection/4 [ OK ]

Obteniendo la dirección IP y MAC del Gateway ....
IP del Gateway: 192.168.0.2 MAC: 00:00:AB:2D:01:01
Estableciendo registro estatico en la tabla ARP
192.168.0.2 ether 00:00:ab:2d:01:01 CM eth0
Protegido contra ataques ARP
[root@centosCG Escritorio]# arp -n
Address HWtype HWaddress Flags Mask Iface
192.168.0.2 ether 00:00:ab:2d:01:01 CM eth0
[root@centosCG Escritorio]#
    
```

Figura 8. Ejecución del algoritmo mitigar.sh. Fuente Autores

El algoritmo de mitigación reinicia la interfaz de red para borrar la tabla ARP obtiene la dirección IP y la Mac del Gateway establece un registro estático y da como salida la creación de este registro en la figura 8 podemos ver que al ejecutar arp -n se ha eliminado la duplicidad del registro y que solamente aparece la dirección del cliente y una Flags Mask tipo CM lo que significa que es un registro manual, por ultimo nos arroja un mensaje informándonos que estamos protegidos contra ataques ARP.

### Otras alternativas de seguridad a los ataques ARP

Hay diferentes maneras de hacer más seguro el protocolo ARP, además de los citados anteriormente, existen múltiples programas como la herramienta “ArpON (Arp handler inspectiON)” es una herramienta que permite manipular algunos aspectos del protocolo ARP. Una de sus cualidades destacadas es hacer que el protocolo ARP sea más

seguro. Implementa dos técnicas de defensa contra ataques de envenenamiento ARP (ARP spoofing):

SARPI “Static Arp Inspection”: Static ARP inspection, Redes sin DHCP, utiliza una lista estática de entradas y no permite modificaciones se asemeja al registro estático.

DARPI “Dynamic Arp Inspection”: Dynamic ARP inspection, Redes con DHCP, controla peticiones ARP entrantes y salientes, guarda las salientes y fija un timeout para la respuesta entrante.

Además de detectar y bloquear ataques derivados más complejos del estilo de DHCP Spoofing, DNS Spoofing, WEB Spoofing, Session Hijacking y SSL/TLS Hijacking, está pensado para funcionar como Daemon, y actualmente está adaptado para sistemas GNU/Linux, Mac OS X, FreeBSD, NetBSD y OpenBSD” (GLOBALIP S.A.C, 2011)

### Evaluación

ES-ARP funciona de tal manera que la “respuesta ARP y la solicitud ARP es transmitida, y va almacenando la información de la trama de solicitud en la cache ARP. Lo que hace que el rendimiento no disminuya. S-ARP funciona con criptografía asimétrica lo que significa que usa una par de claves para el envío de mensajes (una clave pública y otra privada del mismo host), lo que hace que el tiempo de ejecución está dominado por la verificación de la firma y generación de firmas, este tiempo de verificación depende de la longitud de la clave. La creación de la firma lleva mucho tiempo debido al cálculo exponencial pero se puede mejorar calculando todo por separado, pero aun así no mejora significativamente el rendimiento. La implementación de Mitigación como alternativa de solución es bastante efectiva y económica en entornos pequeños pues en una red con bastantes hosts su configuración puede ser bastante dispendiosa y demorada. La defensa de ES-ARP contra el envenenamiento es mediante el almacenamiento de la información en la trama de solicitud ARP, lo que reduce las posibilidades de los distintos tipos de ataques. La retransmisión de la respuesta de la trama ARP proporciona seguridad contra el envenenamiento de caché ARP, como si cualquier atacante enviara una falsa respuesta ARP, entonces esta respuesta también recibida por el anfitrión objetivo, cuya dirección IP se utiliza para mapear la dirección MAC del atacante. Así que este host detecta que esta respuesta ARP sea falsa por el atacante. En cambio S-ARP y Mitigación utilizan entradas estáticas en la cache ARP, estas no se pueden actualizar y solo pueden cambiarse

manualmente por el administrador del sistema, nuevamente no es viable para redes con cientos de hosts porque las entradas se deben introducir de manera manual en cada host. Otra opción de seguridad sugerida de S-ARP es la seguridad de puerto que es una característica presente en muchos switches modernos que permite que el conmutador reconoce solo una dirección MAC en un puerto físico, aun no es una protección eficaz contra el envenenamiento ARP, ya que si al atacante no falsifica su propia dirección MAC, puede envenenar la cache de las dos víctimas sin dejar que el switch interfiera en el proceso

## Conclusión

Si se desea implementar alguna de las opciones de seguridad que se expusieron en este artículo debemos saber para qué tipo de redes podemos adaptarlas ya que por ejemplo los métodos S-ARP y Mitigación serían tediosos de implementar en una red con cientos de hosts, ya que las entradas se deben introducir manualmente en cada host, en cambio en ES-ARP esta característica no se adopta y es similar a la de ARP. ES-ARP tiene un mejor rendimiento lo que la hace más eficiente.

Las tres soluciones tienen un problema, si la respuesta ARP envenenada se envía antes de la real y se pone en la memoria caché, la víctima almacena la respuesta equivocada en la cache y descarta la real. Cuando se envía la primera solicitud ARP, la víctima y el atacante reciben el mensaje. El primero que llegue se pondrá en la cache ARP de la víctima. Además, el atacante también podría suplantar un mensaje de solicitud de eco ICMP y enviar inmediatamente después de que una respuesta ARP falsa. Cuando la víctima recibe la solicitud de eco ICMP, realiza una petición ARP, pero la respuesta falsa ya está en la cola del paquete recibido, por lo que la acepta una.

Si se instala un Antídoto, el host puede suplantar la dirección MAC del remitente y forzar una serie para prohibir otro host.

## De los autores

**Jorge Enrique Salamanca Céspedes:** Ingeniero Electrónico – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Especialista en telecomunicaciones móviles y Magister en telecomunicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Estudiante Doctorado en educación, DIE Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente de planta asociado, adscrito al proyecto curricular de Ingeniería Electrónica, Facultad de ingeniería Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [jsalamanca@udistrital.edu.co](mailto:jsalamanca@udistrital.edu.co), y adicional a esto.

**Ing. Octavio José Salcedo Parra.** PhD. Doctor en Estudios Políticos – Universidad Externado de Colombia. Doctor en Ingeniería Informática - Universidad Pontificia de Salamanca, Campus de Madrid. DEA Universidad Pontificia de Salamanca, Campus de Madrid. Magister en Economía - Universidad de los Andes. Magister en Teleinformática - Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Ingeniero de Sistemas – Universidad Autónoma de Colombia. Profesor de Planta, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas” - Bogotá D.C. Profesor de Planta, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá D.C. Investigador Senior Colciencias. Director Grupo de Investigación “Internet Inteligente”, Clasificado Colciencias A.

## Referencias

- [1] Md. Atullah, N. Chauhan, ES-ARP: an Efficient and Secure Address Resolution Protocol, SCEECS 2012.
- [2] D. Bruschi, A. Ornagui, E. Rosti S-ARP: a Secure Address Resolution Protocol, ACSAC 200).
- [3] D.Comer, D.Stevens interconectividad de redes con TCP/IP vol 11
- [4] F. Gutiérrez, laboratorio virtualizado de seguridad informática con Kali Linux.
- [5] GLOBALIP S.A.C., “ArpOn” - Un buen aliado contra los ataques AR. 2011. Activo 1 de diciembre de 2014.  
<http://globalip.blogspot.com/2011/05/arpon-un-buen-aliado-contra-los-ataques.html>
- [6] Dug Song, “ARP Spoof”,  
<http://arp spoof.sourceforge.net>.
- [7] Peter Burkholder, “SSL Man-in-the-Middle Attacks”, [www.sans.org/reading\\_room/whitepapers/threats/480.php](http://www.sans.org/reading_room/whitepapers/threats/480.php).
- [8] Thawatchai Chomsiri, “Sniffing Packets on LAN without ARPSpoofing”, 11-13 Nov.008.

# Medición de la Capacidad de planta de una empresa fabricante de Equipos Electrónicos de Potencia

Pablo Emilio Rozo García<sup>1</sup>  
Johann Hernández<sup>2</sup>  
Diana Ovalle<sup>3</sup>

## Resumen

Una de las aplicaciones más interesantes de la optimización en el campo real es la de medir la capacidad que puede tener una empresa industrial para fabricar sus productos, para ello se debe tener en cuenta los tiempos de fabricación, los tiempos de uso de las instalaciones, las materias primas disponibles y el recurso humano. Se ha estudiado un caso puntual y real de una empresa de Ingeniería Electrónica ubicada en Bogotá y dedicada al diseño, fabricación, comercialización y prestación de servicios de equipos electrónicos de potencia, la empresa requiere determinar la capacidad de planta, para tomar decisiones apropiadas en el caso que se supere sus límites en cuanto recursos físicos como humanos, para lo anterior se aplicaran modelos de optimización acordes a los sistemas lineales. En este artículo se quiere mostrar el manejo del modelo simplex en el desarrollo de problemas de optimización, para encontrar una respuesta a los requerimientos de la compañía, sin embargo, se ha resuelto por dos métodos adicionales para comprobar la validez de los resultados y tomar decisiones asertivas.

**Palabras claves:** Optimización, Simplex, Solver, Linprog, restricciones.

<sup>1</sup> perozog@udistrital.edu.co

<sup>2</sup> johann.hernandez@udistrital.edu.co

<sup>3</sup> dmovalle@udistrital.edu.co

## Introducción

La empresa de Ingeniería Electrónica es una compañía fabricante de equipos electrónicos de potencia, cuya misión es satisfacer necesidades de continuidad y pureza de alimentación eléctrica de las instalaciones de sus clientes mediante el diseño, fabricación, comercialización y suministro de bienes y servicios en aplicaciones de sistemas electrónicos y en la adecuación y control de energía eléctrica. Dado que la empresa desarrolla todas sus actividades con personal idóneo y se encuentra enmarcada dentro de un sistema de gestión de calidad ISO 9001 para el mejoramiento de las operaciones, uno de los puntos a revisar es en el tiempo de entrega de los productos, la calidad de los mismos y el costo competitivo en el mercado. Se encontró que los retardos en la entrega de los productos ha generado un cierto grado de insatisfacción en los clientes por lo que se ha decidido revisar la capacidad de planta.

Para realizar el estudio se tomó como base los productos de mayor movimiento como son Rectificadores/Cargadores de Baterías trifásicos, Rectificadores/Cargadores de Baterías monofásicos, Rectificadores.

Cargadores de Baterías de HF, UPS e Inversores. Se tuvo en cuenta los tiempos de planta, los tiempos dedicados a cada producto, los recursos humanos y las materias primas base. Además de acuerdo con las estadísticas se tiene el promedio de equipos que se demandan en este nicho.

Con estos datos se planteó una función objetivo que permita determinar el máximo de equipos que se pueden producir teniendo en cuenta las restricciones derivadas de los parámetros arriba mencionados. El planteamiento da como resultado un problema de programación lineal de cinco variables y diez restricciones que se desarrollaran a través de un algoritmo simplex y para corroborar la veracidad de los resultados se utilizara el toolbox de MATLAB linprog y con el Solver que se maneja a través de Excel.

## Planteamiento del problema de optimización

La empresa de Ingeniería Electrónica es una compañía industrial que al estar enmarcada dentro de un sistema de gestión de calidad - ISO 9001 -, la revisión de los procesos es fundamental para la mejora continua. Dentro de la evaluación por parte de los clientes se revisa la parte comercial, administrativa, ingenieril, calidad de los equipos, tiempos de entrega, costos dentro del mercado,

atención de garantías, nivel de garantías, capacitación y postventas. Para el caso de estudio, se centró dicha evaluación en la problemática de los tiempos de entrega.

Se realizó un levantamiento de datos de los últimos tres años en los productos más representativos de la empresa los cuales son Rectificadores/Cargadores de Baterías Trifásicos, Rectificadores/Cargadores de Baterías Monofásicos, Rectificadores/Cargadores de Baterías de HF, UPS e Inversores. Los datos consolidados fueron del número de unidades vendidas por año y el retardo en la entrega de los productos donde se señaló el máximo retardo y el mínimo retardo por año. A partir de estos datos se determinó los promedios de retardo así como el promedio de equipos vendidos por la empresa. El cuadro resumen se puede observar en la Figura 1.

En la tabla de la figura 1, se puede observar que la cultura de la empresa es el incumplimiento, curiosamente al hacer el levantamiento de los datos ningún producto se entrega oportunamente, así que efectivamente es primordial determinar cuál es el inconveniente de la empresa y para ello es necesario determinar cuál es la capacidad de la planta.

Se muestran diferentes gráficas que indican el comportamiento de la empresa, en donde se puede apreciar en la gráfica 1 la cantidad de ventas de los productos durante los años 2013, 2014 y 2015, en la gráfica 2 el retardo máximo y mínimo en cada producto por año, en la gráfica 3 el retardo promedio por año y en la gráfica 4 el retardo promedio de los tres años y el promedio de productos vendidos.

Para poder plantear la función objetivo es necesario conocer el proceso que se realiza para producir un producto, por lo que a continuación se enumeran los pasos:

	CARG. TRIFÁSICOS (TIRIS.)	CARG. MONOFÁSICOS (TIRIS.)	CARGADOR DE H.F.	UPS	INVERSORES
NUMERO DE EQUIPOS / 13	26	18	38	18	5
NUMERO DE EQUIPOS / 14	69	15	46	13	19
NUMERO DE EQUIPOS / 15	30	15	27	20	13
T. MÁXIMO DE RETARDO / 13	63	27	23	52	13
T. MÁXIMO DE RETARDO / 14	58	33	18	66	19
T. MÁXIMO RETARDO / 15	32	18	14	31	21
T. MÍNIMO DE RETARDO / 13	16	2	2	5	8
T. MÍNIMO DE RETARDO / 14	7	5	5	3	14
T. MÍNIMO DE RETARDO / 15	10	2	4	2	7

PROMEDIO RETARDO /13	39,5	14,5	12,5	28,5	10,5
PROMEDIO RETARDO /14	32,5	19	11,5	34,5	16,5
PROMEDIO RETARDO /15	21	10	9	16,5	14
PROMEDIO RETARDO	31,0	14,5	11,0	26,5	13,7
PROMEDIO UNIDADES	41,7	16,0	37,0	17,0	12,3

Fig. 1. Datos generales obtenidos al revisar pedido a pedido y equipo a equipo durante los años 2013, 2014 y 2015.

1. El departamento comercial hace la entrega del pedido donde se indica el alcance, tiempo y costo.
2. La información pasa al departamento de ingeniería en donde se genera el diseño del equipo que incluye planos mecánicos y eléctricos, listados de material y listado de cableado. Esta información se reparte para el departamento de compras y para el departamento de Producción.

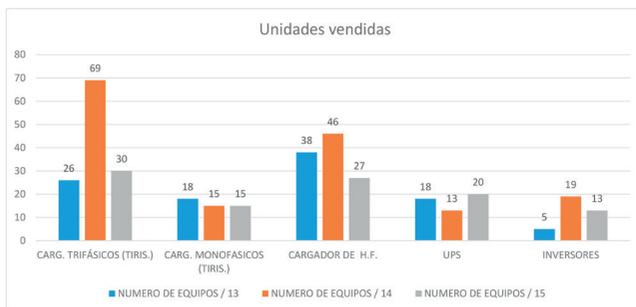


Fig. 2. Unidades vendidas de los cinco productos en los últimos tres años.

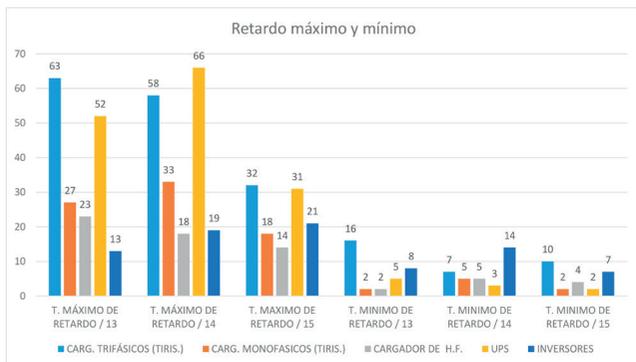


Fig. 3. Retardo máximo y mínimo presentado en cada producto durante cada año.

4. El departamento de producción de acuerdo con los planos mecánicos y eléctricos con sus respectivos listados inicia sus trabajos de metalmecánica, que corresponde al maquinado de las bandejas como la preparación y adecuación de los disipadores para los tiristores y diodos de potencia, de igual forma se arman los módulos que son la Bandeja principal, la Bandeja I/O, el modulo I/F y la Caja de tarjetas, en forma paralela se trabaja el ensamble de las Tarjetas

del sistema cuya cantidad depende del tipo de producto a fabricar y con todos estos insumos de realiza el proceso de ensamble del producto. Una vez producción termina estas actividades el equipo se le pasa al departamento de Ingeniería.

5. El equipo ensamblado llega al departamento de Ingeniería - área de pruebas -, donde se realiza la puesta a punto del equipo y el protocolo de pruebas del mismo. Este punto es clave, porque es donde se garantiza que el equipo que se le va a entregar al cliente cumple con todos los requerimientos del mismo. El equipo nuevamente pasa al departamento de producción.

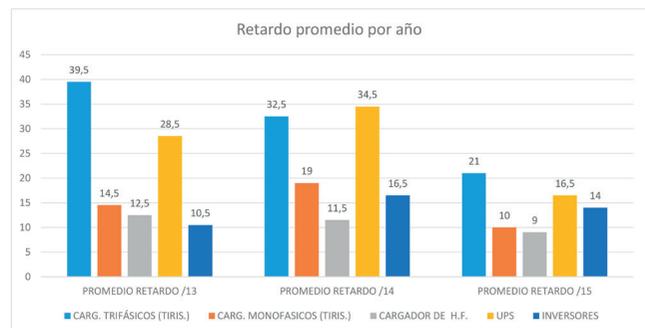


Fig. 4. Retardo promedio de cada producto por año.

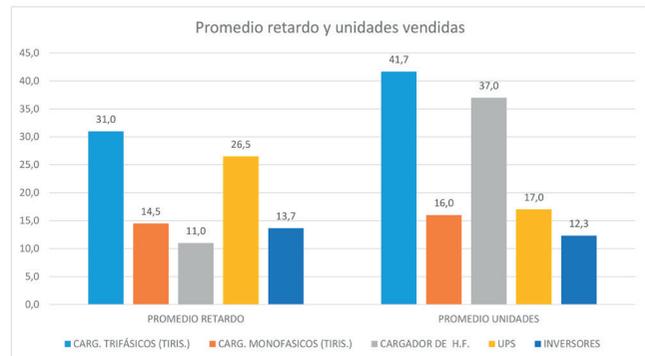


Fig. 5. Se muestra el promedio de retardo por producto y el promedio de unidades vendidas durante los años 2013, 2014 y 2015.

6. El equipo nuevamente en producción pasa a través de dos actividades, una corresponde al alistamiento (limpieza, etiquetado y lacado contra corrosión) y finalmente el embalamiento del mismo que puede ser entregado en sitio o en plataforma. En este instante el departamento de ingeniería área de documentación debe entregar el manual del equipo donde se incluye información técnica del equipo como del usuario para su manipulación.

En algunos casos el alcance del pedido incluye curso de capacitación e instalación y puesta en marcha. Para efectos de plantear la función objetivo, en procura de realizar la medición de la capacidad de planta se van a tener en cuenta los

siguientes ítems que obedecen a la información que se obtuvo desde la gerencia de la empresa.

1. Se cuenta con un inventario anual de materia prima básica en Bandejas de 300 unidades y de Transformadores de 200 unidades. Este inventario corresponde a un convenio hecho con los proveedores de los mismos para tener unos mejores precios.

Para efectos del problema se van a identificar los productos de la siguiente forma:

A = Rectificador/Cargador de Baterías Trifásico.  
 B = Rectificador/Cargador de Baterías Monobásico.  
 C = Rectificador/Cargador de Baterías de HF.  
 D = UPS.  
 E = Inversores.

2. El producto A utiliza cuatro (4) bandejas, el producto B usa tres (3) bandejas, el producto C usa dos (2) bandejas, el producto D usa seis (6) bandejas y el producto E utiliza tres (3) unidades de bandeja.

El recurso humano se clasifica en operarios y especialistas (técnicos e ingenieros).

3. Para la fabricación del producto A se requieren de 44 horas de operarios, para el producto B se requiere de 16 horas de operarios, para el producto C se requiere de 10 horas de operarios, para el producto D se requiere de 40 horas de operarios y para el producto E se requiere de 56 horas de operarios.
4. Para la fabricación del producto A se requieren de 16 horas de especialistas, para el producto B se requiere de 12 horas de especialistas, para el producto C se requiere de 8 horas de especialistas, para el producto D se requiere de 24 horas de especialistas y para el producto E se requiere de 16 horas de especialistas.
5. Las instalaciones de la empresa están disponibles de Lunes a viernes de 6:00 A.M. a 10:00 P.M. (16 horas) diarias durante 53 semanas del año. Con esto se tiene una disponibilidad total de 4240 horas.
6. El recurso humano de operarios trabajan 45 horas semanales lo que corresponde a una disponibilidad anual de 2385 horas.
7. El recurso humano de especialistas trabajan 40 horas semanales lo que corresponde a una disponibilidad anual de 2120 horas.
8. De acuerdo con los productos, la empresa le

ha asignado un número de horas para su manufactura que están distribuidos de la siguiente forma:

Producto A = 8 horas  
 Producto B = 5 horas  
 Producto C = 3 horas Producto D = 8 horas  
 Producto E = 6 horas

### A. Función objetivo

Como la solicitud de la empresa es lograr determinar la capacidad de la planta, el planteamiento debe estar orientado a maximizar la producción a partir de los tiempos de instalaciones, tiempos de trabajo de los recursos humanos, materias primas claves (Bandejas y transformadores de potencia) y basados en la figura No. 5 se quiere tomar como base el fabricar los productos en una cantidad cercana a el promedio obtenido de los últimos tres años. Por lo tanto, la función objetivo será:

$$\text{Max } 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5$$

Donde:

$x_1$  = Número máximo de Rectificadores/Cargadores Trifásicos a producir.

$x_2$  = Número máximo de Rectificadores/Cargadores Monofásicos a producir.

$x_3$  = Número máximo de Rectificadores/Cargadores de HF.

$x_4$  = Número máximo de UPS a producir.

$x_5$  = Número máximo de Inversores a producir.

**1) Restricciones del problema:** La solución del problema lineal está sujeto a cada uno de los parámetros que arriba fueron mencionados:

$$\begin{aligned} 4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + 6x_4 + 3x_5 &\leq 300 \\ 3x_1 + x_2 + 0x_3 + 4x_4 + 2x_5 &\leq 200 \\ 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 &\leq 4240 \\ 44x_1 + 16x_2 + 10x_3 + 40x_4 + 28x_5 &\leq 2385 \\ 16x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 24x_4 + 16x_5 &\leq 2120 \\ x_1 &\leq 40 \\ x_2 &\leq 15 \\ x_3 &\leq 30 \\ x_4 &\leq 15 \\ x_5 &\leq 10 \end{aligned}$$

## Métodos de solución

Para la solución de este problema de Programación Lineal se van a utilizar tres métodos, el método simplex, el Solver y el linprog.

### Metodo simplex

El método Simplex es un método analítico de solución de problemas de programación lineal capaz de resolver modelos más complejos que los resueltos mediante el método gráfico sin restricción en el número de variables. El Método Simplex es un método iterativo que permite ir mejorando la solución en cada paso. La razón matemática de esta mejora radica en que el método consiste en caminar del vértice de un poliedro a un vértice vecino de manera que aumente o disminuya (según el contexto de la función objetivo, sea maximizar o minimizar), dado que el número de vértices que presenta un poliedro solución es finito siempre se hallara solución.

Como punto inicial, el método simplex necesita que cada una de las restricciones este en forma estándar especial, en la que todas las restricciones se expresen como ecuaciones, mediante la adición de variables de holgura o de exceso, según sea necesario. Esta conversión conlleva a un conjunto de ecuaciones simultáneas donde el número de variables excede al número de ecuaciones, lo que lleva a que las ecuaciones entregan un número infinito de puntos de solución. Los puntos extremos de este espacio pueden identificarse algebraicamente por medio de las soluciones básicas del sistema de ecuaciones simultáneas. De acuerdo con la teoría del algebra lineal, una solución básica se obtiene igualando a cero las variables necesarias con el fin de igualar el número total de variables y el número total de ecuaciones para que la solución sea única, y luego se resuelve el sistema con las ecuaciones restantes. Lo fundamental en la transición del método gráfico al método algebraico se basa en la siguiente relación:

Puntos extremos  $\Leftrightarrow$  soluciones básicas

Por lo tanto, el método simplex lo que hace es identificar una solución inicial y después desplazarse sistemáticamente a otras soluciones básicas que tengan el potencial de mejorar el valor de la función objetivo. Finalmente, la solución básica optima ser a identificada, con lo que termina el proceso del cálculo. Lo que concluye que el método simplex es un procedimiento de cálculo iterativo donde cada iteración está a asociada con una solución básica.

En el método simplex se pueden identificar dos variantes: los algoritmos del método simplex primal

y los del simplex dual. Aparentemente son dos métodos diferentes, sin embargo, lo fundamental de los dos algoritmos se basa en que los puntos extremos del espacio de soluciones son totalmente identificables por las soluciones básicas del modelo de programación lineal. Por una parte, el método simplex primal parte de una solución básica factible y se continúa iterando a través de soluciones básicas factibles sucesivas hasta alcanzar el óptimo. Por otra parte, el método simplex dual son sistemas que no tienen una solución factible básica inicial con solo holguras, pero que pueden resolverse sin utilizar variables artificiales, este método la solución comienza siendo infactible y óptima, caso totalmente contrario al método simplex primal. El algoritmo se muestra en la figura 6.

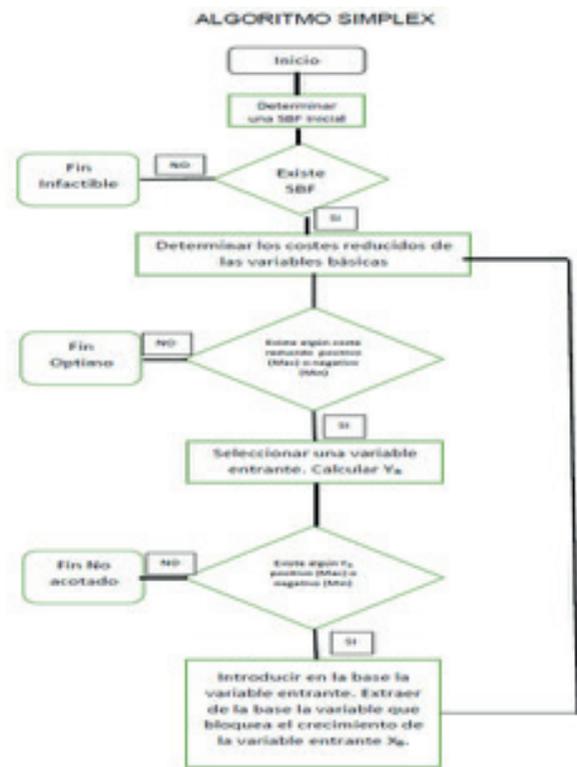


Fig. 6. Diagrama de flujo del algoritmo Simplex.

### Método solver

El Solver se utiliza para determinar el valor máximo o mínimo de una celda modificando otras celdas. Las celdas que se seleccionen deberán estar relacionadas mediante fórmulas en la hoja de cálculo. Si no están relacionadas, cuando se modifique una celda no se modificara la otra. Con Solver puede modificarse el valor óptimo para una celda, denominada celda objetivo. Solver ajusta los valores en las celdas cambiantes que se especifiquen, denominadas celdas ajustables para generar el resultado especificado en la fórmula de la celda objetivo. Pueden aplicarse restricciones para limitar los valores del modelo,

pudiendo estas hacer referencia a otras celdas a las que afecte la fórmula de la celda objetivo.

Microsoft Excel Solver utiliza el código de optimización no lineal (GRG2) desarrollado por la Universidad León Lasdon de Austin (Texas) y la Universidad Allan Waren (Cleveland). Los problemas lineales y enteros utilizan el método más simple con límites en las variables y el método de ramificación y límite, implantado por John Watson y Dan Fylstra de Frontline Systems, Inc.

### Cuadro de diálogo Parámetros de Solver

Con Solver, puede buscarse el valor óptimo para una celda, denominada celda objetivo, en una hoja de cálculo. Funciona en un grupo de celdas que estén relacionadas, directa o indirectamente, con la fórmula de la celda objetivo. Solver ajusta los valores en las celdas cambiantes que se especifiquen, denominadas celdas ajustables, para generar el resultado especificado en la fórmula de la celda objetivo. Pueden aplicarse restricciones para restringir los valores que puede utilizar Solver en el modelo y las restricciones pueden hacer referencia a otras celdas a las que afecte la fórmula de la celda objetivo.

36

**Celda objetivo:** Celda que se desea definir con un valor determinado o que se desea maximizar o minimizar.

**Valor de la celda objetivo:** Especifica si se desea maximizar o minimizar la celda objetivo, o bien definirla con un valor específico el cual se introducirá en el cuadro.

**Cambiando las celdas:** Celdas que pueden ajustarse hasta que se satisfagan las restricciones del problema, pueden especificarse 200 celdas como máximo.

**Estimar:** Estima todas las celdas que no contienen ninguna fórmula a las que se hace referencia en la fórmula de la celda objetivo y escribiéndola en el cuadro "cambiando las celdas".

**Sujeto a las siguientes restricciones:** Muestra una lista de las restricciones actuales en el problema, permitiéndose editar dichas restricciones.

**Resolver:** Inicia el proceso de solución del problema definido.

**Cerrar:** Cierra el cuadro de dialogo sin resolver el problema. Retiene todos los cambios que se hayan

realizado mediante los botones Opciones, Agregar, Cambiar o Borrar.

**Opciones:** Muestra el cuadro de dialogo Opciones de Solver, donde pueden cargarse y guardarse los modelos de problema y las características de control avanzado del proceso de solución.

**Restablecer todo:** Borra los valores actuales del problema y restablece todos los valores a sus valores originales.

### Cuadro de diálogo Opciones de Solver

Pueden controlarse las características avanzadas del proceso de solución, cargarse o guardarse definiciones de problemas y definirse parámetros para los problemas lineales y no lineales. Cada opción tiene una configuración predeterminada adecuada a la mayoría de los problemas.

### Cuadro de diálogo Resultados de Solver

Muestra un mensaje de finalización y los valores resultantes más próximos a la solución que se desee, como son: Conservar la solución de Solver, Restaurar valores originales, Informes y Guardar escenario.

### Mensajes de finalización de Solver

Cuando Solver encuentra una solución, muestra uno de los siguientes mensajes en el cuadro de dialogo Resultados de Solver:

1. Solver ha encontrado una solución. Se han satisfecho todas las restricciones y condiciones.
2. Solver ha llegado a la solución actual. Todas las restricciones se han satisfecho.
3. Solver no puede mejorar la solución actual. Todas las restricciones se han satisfecho.
4. Cuando se ha alcanzado el límite de tiempo, se ha seleccionado Detener.
5. Cuando se ha alcanzado el límite máximo de iteración, se ha seleccionado Detener.
6. Los valores de la celda objetivo no convergen.
7. Solver no ha podido encontrar una solución factible.
8. Se ha detenido Solver a petición del usuario.

9. No se han satisfecho las condiciones para Adoptar modelo lineal.
10. Solver ha encontrado un valor de error en una celda objetivo o restringida.
11. Memoria disponible insuficiente para resolver el problema.
12. Otro elemento de Excel está utilizando SOLVER. DLL.

Dado que el método Solver utiliza para nuestro caso el algoritmo Simplex el diagrama de flujo es el mismo de la figura 6.

### Método -Toolbox Linprog

Los problemas de programación lineal consisten en optimizar una ecuación lineal que está sujeta a una serie de restricciones conformadas por desigualdades lineales. Para resolverlos el toolbox posee la función linprog, la cual posee tres algoritmos para su solución, el método de larga escala, el método simplex y el de Active Set.

La sintaxis para llamar esta función es la siguiente:  
 $x = \text{linprog}(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0,options)$

Donde:

$f$ : es el vector de coeficientes de la función objetivo, organizado según las variables.

$A, b$ : corresponden a las restricciones de desigualdad, siendo el primero la matriz y el segundo el vector del lado derecho del sistema de inecuaciones  $Ax \leq b$ .

$Aeq, beq$ : tienen el mismo tratamiento que  $A$  y  $b$ , respectivamente, teniendo en cuenta que los nuevos corresponden a un sistema de ecuaciones, en tanto que los antiguos constituían uno de inecuaciones.

$lb, ub$ : son, respectivamente, los límites inferior y superior de la región donde se espera que se encuentre el punto óptimo.

$x0$ : es el punto inicial para la iteración. Según el algoritmo usado es posible, o no, omitir este último.

### Algoritmo de Linprog

#### Optimización a larga escala

El método de larga escala, se basa en LIPSOL' (Solución Lineal del Punto Interior) la cual es

una variable del algoritmo Mehrotras predictor-corrector, un método primal-dual del punto interior. Un número de pasos previos del proceso ocurren antes de que el algoritmo comience a iterar.

#### Optimización a media escala

Linprog: es un método activo del sistema y es así una variación del método simplex, bien conocido para programación lineal. El algoritmo encuentra una solución factible inicial por la solución de otro problema de programación lineal:

$options = \text{optimset}('LargeScale', 'off', 'Simplex', 'on')$

Y pasando  $options$  como un argumento de entrada de  $linprog$ . El algoritmo simplex retorna una solución óptima del vértice. Es importante tener presente que no se podrá proveer un punto inicial  $x0$  para  $linprog$ , del método a gran escala o del método a media escala usando el algoritmo del método simplex. En cualquier caso si se coloca  $x0$  como un argumento de entrada, el  $linprog$  no toma en cuenta  $x0$  y calcula su propio punto inicial para el algoritmo.

A continuación se indica un algoritmo (figura 7) para resolver un problema lineal usando  $Linprog$ .

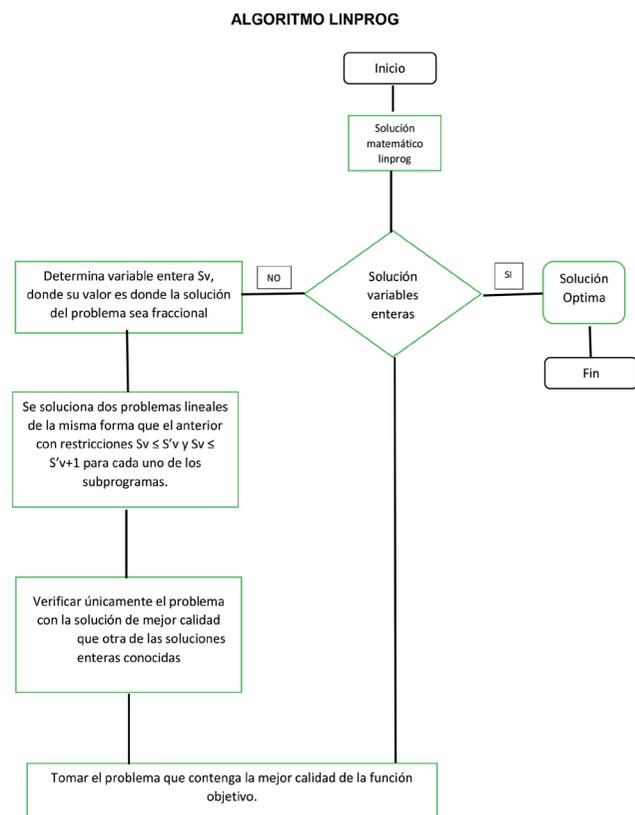


Fig. 7. Diagrama de flujo aplicando Linprog.

Resultados del problema de optimización

Método Simplex

Max  $8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5$   
 Sujeto a:

$$\begin{aligned} 4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + 6x_4 + 3x_5 &\leq 300 \\ 3x_1 + x_2 + 0x_3 + 4x_4 + 2x_5 &\leq 200 \\ 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 &\leq 4240 \\ 44x_1 + 16x_2 + 10x_3 + 40x_4 + 28x_5 &\leq 2385 \\ 16x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 24x_4 + 16x_5 &\leq 2120 \\ x_1 &\leq 40 \\ x_2 &\leq 15 \\ x_3 &\leq 30 \\ x_4 &\leq 15 \\ x_5 &\leq 10 \end{aligned}$$

Para pasar la función objetivo de Maximizar a minimizar lo que se requiere es multiplicar por -1 la función y esta quedaría:

$$\text{Min } -8x_1 - 5x_2 - 3x_3 - 8x_4 - 6x_5$$

Se aplica a través de MATLAB el siguiente programa de Simplex, figura 8.



```

clc,clear all
Min = [-8 -5 -3 -8 -6];%funcion objetivo
A1=[4 3 2 6 3];
A2=[3 1 0 4 2];
A3=[8 5 3 8 6];
A4=[44 16 10 40 28];
A5=[16 12 8 24 16];
A6=[1 0 0 0 0];
A7=[0 1 0 0 0];
A8=[0 0 1 0 0];
A9=[0 0 0 1 0];
A10=[0 0 0 0 1];
A=[A1;A2;A3;A4;A5;A6;A7;A8;A9;A10];%Matriz de restricciones
b=[300; 200; 4240; 2385; 2120; 40; 15; 30; 15; 10];%Vector
correspondiente a las restricciones
iterM=10;%Numero de iteraciones
n=size(A,1);%Numero de elementos de holgura
Solucion=[A eye(n) b,
    Min zeros(1,n) 0];%Primera tabla
for iter=1:iterM %Bucle que determina si hay negativo en la funcion
    solucion
        fn=Solucion(end,1:end-1)<0;
        if fn==0
            break
        end
        [a,c]=min(Solucion(end,:));%Determina cual es el mas negativo y el número
        del coeficiente
        div=Solucion(1:end-1,:)/Solucion(end,:);%Se realizan las divisiones para
        determinar el pivote
        i=div<=0;
        d=div;
        d(i)=inf;%Se le coloca infinito a los que no cumplen condiciones
        [h,f]=min(d);%Se indic el pivote y en que fila está
        h
        Solucion(f,1:end)=Solucion(f,1:end)/Solucion(f,c);%Se realiza las
        operaciones correspondientes en la fila
        for i=1:1:size(Solucion,1)%Este bucle hace las iteraciones
            correspondientes
                if i=f
                    Solucion(i,:)=Solucion(i,:)-(Solucion(i,c)*Solucion(f,:));
                end
            end
        end
    end
end
Solucion
    
```

Fig. 8. Programa de MATLAB Simplex

En ocho (8) iteraciones se obtuvo los valores de las variables, los resultados se muestran en las figuras:

Figura 9, Iteraciones de la 0 al 2  
 Figura 10, Iteraciones de la 3 al 5  
 Figura 11, Iteraciones de la 6 al 8, final.

Tabla 1															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
4	3	2	6	3	1										300
3	1	0	4	2		1									200
8	5	3	8	6			1								4240
44	16	10	40	28				1							2385
16	12	8	24	16					1						2120
1										1					40
	1										1				15
		1										1			30
			1										1		15
				1										1	10
-8	-5	-3	-8	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Interacción 1															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
0	3	2	6	3	1	0	0	0	0	-4	0	0	0	0	140
0	1	0	4	2	0	1	0	0	0	-3	0	0	0	0	80
0	5	3	8	6	0	0	1	0	0	-8	0	0	0	0	3920
0	16	10	40	28	0	0	0	1	0	-44	0	0	0	0	615
0	12	8	24	16	0	0	0	0	1	-16	0	0	0	0	1480
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	40
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	-5	-3	-8	-6	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	320
Interacción 2															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
0	3	2	0	3	1	0	0	0	0	-4	0	0	-6	0	50
0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	-3	0	0	-4	0	20
0	5	3	0	6	0	0	1	0	0	-8	0	0	-8	0	3800
0	16	10	0	28	0	0	0	1	0	-44	0	0	-40	0	25
0	12	8	0	16	0	0	0	0	1	-16	0	0	-24	0	1120
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	40
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	-5	-3	0	-6	0	0	0	0	0	8	0	0	8	0	440
Interacción 3															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
0	1.3	0.9	0	0	1	0	0	-0.1	0	0.7	0	0	-1.7	0	47.3
0	-0.1	-0.7	0	0	0	1	0	-0.1	0	1.1	0	0	-1.1	0	18.2
0	1.6	0.9	0	0	0	0	1	-0.2	0	1.4	0	0	0.6	0	3794.6
0	0.6	0.4	0	1	0	0	0	0	0	-1.6	0	0	-1.4	0	0.9
0	2.9	2.3	0	0	0	0	0	-0.6	1	9.1	0	0	-1.1	0	1105.7
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	40
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	-0.6	-0.4	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0	1.4	1	9.1
0	-1.6	-0.9	0	0	0	0	0	0.2	0	-1.4	0	0	-0.6	0	445.4

Fig. 9. Iteraciones de la 0 a la 2.

(This table is identical to the one above, showing iterations 3 through 5.)

Interacción 4															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
0	0	0.1	0	-2.2	1	0	0	-0.2	0	4.3	0	0	1.5	0	45.3
0	0	-0.6	0	0.2	0	1	0	-0.1	0	-0.2	0	0	-1.5	0	8.4
0	0	-0.1	0	-2.8	0	0	1	-0.3	0	5.8	0	0	4.5	0	3792.2
0	1	0.6	0	1.8	0	0	0	0.1	0	-2.7	0	0	-2.5	0	16
0	0	0.5	0	5	0	0	0	-0.8	1	1.7	0	0	6	0	1101.3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	40
0	0	-0.6	0	-1.8	0	0	0	-0.1	0	2.7	1	0	2.5	0	13.4
0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	0	0.1	0	2.8	0	0	0	0.3	0	-5.8	0	0	-4.5	0	447.8
Interacción 5															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	B
0	0	1.1	0	0.5	1	0	0	-0.1	0	0	-1.5	0	-2.4	0	24.5
0	0	-0.7	0	0.1	0	1	0	-0.1	0	0	0.1	0	-1.3	0	19.7
0	0	1.2	0	0.9	0	0	1	-0.2	0	0	-2.1	0	-0.7	0	3764.1
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	4.4	0	5.8	0	0	0	-0.4	1	0	-6.2	0	-9.5	0	1018.2
1	0	0.2	0	0.6	0	0	0	0	0	0	-0.4	0	-0.9	0	35.1
0	0	-0.2	0	-0.6	0	0	0	0	0	1	0.4	0	0.9	0	4.9
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	0	-1.2	0	-0.9	0	0	0	0	0.2	0	0	2.1	0	0.7	475.9

Fig. 10. Iteraciones de la 3 a la 5.

Interacción 6															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	B
0	0	1	0	0.4	0.9	0	0	-0.1	0	0	-1.4	0	-2.2	0	22.5
0	0	0	0	0.4	0.6	1	0	-0.1	0	0	-0.9	0	-2.7	0	35
0	0	0	0	0.4	-1.1	0	1	-0.1	0	0	-0.4	0	1.8	0	3737.5
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	0	0	0.4	-4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	920
1	0	0	0	0.5	-0.2	0	0	0	0	0	0	0	-0.4	0	30
0	0	0	0	-0.5	0.2	0	0	0	0	1	0	0	0.4	0	10
0	0	0	0	-0.4	-0.9	0	0	0.1	0	0	1.4	1	2.2	0	7.5
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	0	0	0	-0.4	1.1	0	0	0.1	0	0	0.4	0	-1.8	0	
Interacción 7															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	B
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	0	-0.2	-0.5	1	0	0	0	0	0.9	1.3	0	0	44.5
0	0	0	0	0.8	-0.3	0	1	-0.2	0	0	-1.6	-0.8	0	0	3731.2
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	0	0	4	-4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	920
1	0	0	0	0.5	-0.4	0	0	0.1	0	0	0.2	0.2	0	0	31.4
0	0	0	0	-0.5	0.4	0	0	-0.1	0	1	-0.2	-0.2	0	0	8.6
0	0	0	0	-0.2	-0.4	0	0	0	0	0	0.7	0.5	1	0	3.5
0	0	0	1	0.2	0.4	0	0	0	0	0	-0.7	-0.5	0	0	11.5
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	0	0	0	-0.8	0.3	0	0	0.2	0	0	1.6	0.8	0	0	508.8

Iteración 8 – tabla final															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	0	0	-0.5	1	0	0	0	0	0.9	1.3	0	0.2	46.1
0	0	0	0	-0.3	0	1	-0.2	0	0	-1.6	-0.8	0	-0.8	0	3723.5
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	0	0	0	-4	0	0	0	1	0	0	0	0	-4	880
1	0	0	0	0	-0.4	0	0	0.1	0	0	0.2	0.2	0	-0.5	26.8
0	0	0	0	0	0.4	0	0	-0.1	0	1	-0.2	-0.2	0	0.5	13.2
0	0	0	0	0	-0.4	0	0	0	0	0	0.7	0.5	1	0.2	5.4
0	0	0	1	0	0.4	0	0	0	0	0	-0.7	-0.5	0	-0.2	9.6
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	0	0	0	0	0.3	0	0	0.2	0	0	1.6	0.8	0	0.8	516.5

Fig. 11. Iteraciones de la 6 a la 8, final.

Método Solver

Max  $8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5$

Sujeto a:

$$\begin{aligned}
 4x_1 + 3x_2 + 23 + 6x_4 + 3x_5 &\leq 300 \\
 3x_1 + x_2 + 0x_3 + 4x_4 + 2x_5 &\leq 200 \\
 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 &\leq 4240 \\
 44x_1 + 16x_2 + 10x_3 + 40x_4 + 28x_5 &\leq 2385 \\
 16x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 24x_4 + 16x_5 &\leq 2120 \\
 x_1 &\leq 40 \\
 x_2 &\leq 15 \\
 x_3 &\leq 30 \\
 x_4 &\leq 15 \\
 x_5 &\leq 10
 \end{aligned}$$



Se realizó la programación correspondiente, la cual se anexa a continuación, ver figura 12a:

El resultado final de indica en el informe de Solver (Ver figura 12b).

Método Toolbox Matlab - linprog

$$\begin{aligned}
 \text{Max } 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 \\
 \text{Sujeto a:} \\
 4x_1 + 3x_2 + 23 + 6x_4 + 3x_5 &\leq 300 \\
 3x_1 + x_2 + 0x_3 + 4x_4 + 2x_5 &\leq 200 \\
 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 &\leq 4240 \\
 44x_1 + 16x_2 + 10x_3 + 40x_4 + 28x_5 &\leq 2385 \\
 16x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 24x_4 + 16x_5 &\leq 2120 \\
 x_1 &\leq 40 \\
 x_2 &\leq 15 \\
 x_3 &\leq 30 \\
 x_4 &\leq 15 \\
 x_5 &\leq 10
 \end{aligned}$$

Para pasar la función objetivo de Maximizar a minimizar lo que se requiere es multiplicar por -1 la función y esta quedaría:

Tipo de Equipos

Recursos	Rectificador Trifásico	Rectificador Monofásico	Cargadores HF	UPS	Inversores	Cantidad Total	Restricciones
	216	75	90	72	60	513	<=4240
T. de instalaciones	108	45	60	54	30	297	<=300
Cantidad de bandejas	81	15	0	36	20	152	<=200
Cantidad de transformadores	1188	240	300	360	280	2368	<=2385
Tiempo de Operarios	432	180	240	216	160	1228	<=2120
Tiempo de especialistas	27	15	30	9	10		
Unidades totales fabricadas	513						
Producción máxima	513						

a. Programación final en Solver

Microsoft Excel 15.0 Informe de respuestas  
 Hoja de cálculo: [Proyecto\_Final\_Solver.xlsx] Proyecto final  
 Informe creado: 11/06/2016 4:44:59 a. m.  
 Resultado: Solver encontró una solución de enteros dentro de la tolerancia. Se cumplen todas las restricciones.  
 Motor de Solver  
 Motor: Simplex LP  
 Tiempo de la solución: 0,094 segundos.  
 Iteraciones: 1 Subproblemas: 6  
 Opciones de Solver  
 Tiempo máximo ilimitado, Iteraciones ilimitado, Precisión 0,000001  
 Máximo de subproblemas ilimitado, Máximo de soluciones de enteros ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celdas objetivo (Máx)			
Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$C\$22	Producción máxima Rectificador Trifásico	320	513

Celdas de variables				
Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$C\$19	Unidades totales fabricadas Rectificador Trifásico	40	27	Entero
\$D\$19	Unidades totales fabricadas Rectificador Monofásico	0	15	Entero
\$E\$19	Unidades totales fabricadas Cargadores HF	0	30	Entero
\$F\$19	Unidades totales fabricadas UPS	0	9	Entero
\$G\$19	Unidades totales fabricadas Inversores	0	10	Entero

Restricciones					
Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$H\$14	T. de instalaciones Cantidad Total	513	\$H\$14<=4240	No vinculante	3727
\$H\$15	Cantidad de bandejas Cantidad Total	297	\$H\$15<=300	No vinculante	3
\$H\$16	Cantidad de transformadores Cantidad Total	152	\$H\$16<=200	No vinculante	48
\$H\$17	Tiempo de Operarios Cantidad Total	2368	\$H\$17<=2385	No vinculante	17
\$H\$18	Tiempo de especialistas Cantidad Total	1228	\$H\$18<=2120	No vinculante	892
\$C\$19	Unidades totales fabricadas Rectificador Trifásico	27	\$C\$19<=40	Vinculante	0
\$D\$19	Unidades totales fabricadas Rectificador Monofásico	15	\$D\$19<=15	Vinculante	0
\$E\$19	Unidades totales fabricadas Cargadores HF	30	\$E\$19<=30	Vinculante	0
\$F\$19	Unidades totales fabricadas UPS	9	\$F\$19<=15	Vinculante	0
\$G\$19	Unidades totales fabricadas Inversores	10	\$G\$19<=10	Vinculante	0

\$C\$19:\$G\$19=Entero

b. Informe final en Solver

Fig. 12. (a) Programación final en Solver. (b) Informe final en Solver.

$$\text{Min } -8x_1 - 5x_2 - 3x_3 - 8x_4 - 6x_5$$

Se aplica a través de Toolbox de MATLAB el siguiente programa de linprog (ver fig. 13a).

El resultado a través de linprog se puede apreciar en la figura 13b.

Programa Matlab – Toolbox Linprog –

```

clc,clear all ;
f=[-8;-5;-3;-8;-6]; %
función objetivo
A=[4 3 2 6 3;
  3 1 0 4 2;
  8 5 3 8 6;
  44 16 10 40 28;
  16 12 8 24 16;
  1 0 0 0 0;
  0 1 0 0 0;
  0 0 1 0 0;
  0
  0 0
  1 0;
  0 0
  0 0
  1];
b=[300;200;4240;2385;
  2120;40;15;30;15;10];
lb=zeros(5,1);
[x,fval,exitflag,output,lambda] = linprog(f,A,b,[],[],lb);
    
```

a. Programa de Linprog.

Resultado de Matlab –Linprog -

```

Optimization terminated.
x =
  26.8269
  15.0000
  30.0000
   9.6154
  10.0000
    
```

b. Resultado de programa Linprog.

Fig. 13. (a) Programa De MATLAB de Linprog. (b) Resultados de Linprog

V. Análisis de resultados

Es muy interesante llegar a este aparte del trabajo final y encontrar que el trabajo realizado no ha sido en vano.

El análisis de los resultados se puede enfocar en dos frentes, por una parte, en lo correspondiente a los métodos de desarrollo del problema lineal y por otro lado, el determinar una capacidad de planta de la empresa de Ingeniería Electrónica, que además de dar un resultado numérico permitirá tomar decisiones importantes para la compañía.



A continuación se presenta una tabla comparativa de los resultados de los tres (3) métodos utilizados para resolver el problema lineal.

**Tabla I**  
**Tabla comparativa de resultados**

Método	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
Simplex	26.8	15	30	9.6	10
Solver	27	15	30	9	10
Linprog	26.8269	15	30	9.6154	10

### Análisis con respecto a los métodos

1. Por el número de variables y restricciones que se están manejando en este problema los tres métodos son apropiados para alcanzar un resultado apropiado.
2. El número de iteraciones que se manejaron en los tres métodos son pocos, menos de 10, lo que hace que el tiempo y consumo computacional es pequeño.
3. El más sencillo de uso de los tres métodos seleccionados es el *linprog*, pues no se requiere sino tener la función objetivo bien planteada, las restricciones bien definidas con sus respectivas desigualdades y determinar los datos que se quieren obtener.

En el caso de Solver se requiere programar cada una de las celdas que inciden en la función objetivo, así como la celda de la función objetivo, introducir claramente las restricciones y de qué tipo, por otra parte la información entregada por Solver da unos datos muy interesantes para orientar a tomar decisiones sobre la situación en cuestión; es necesario conocer con cierto grado de destreza para poderlo usar, esta herramienta puede ser usada para solución de problemas lineales y no lineales.

En el caso de Simplex se debe tener claro el algoritmo para poder resolver cualquier tipo de problema lineal. Es una excelente herramienta para obtener buenos resultados.

4. En cuanto a la precisión como se puede apreciar en la tabla 1, el más preciso de ellos fue *linprog*, en segunda instancia el Simplex y Solver al ser un sistema que entrega resultados enteros redondeara los valores, sin embargo, es interesante que los resultados por los tres métodos fueron muy cercanos.

### Análisis con respecto a la medición de la capacidad de la planta.

1. Un primer análisis se aprecia en que se tiene una disponibilidad de planta muy grande (4240 horas) de las cuales solo se está utilizando aproximadamente 515 horas, lo que puede llevar a pensar que se puede trabajar en un solo turno de 9 horas y no 16 horas como se hace en la actualidad.
2. La cantidad de materia prima básica es acorde con las necesidades de producción, sin embargo, en el caso de los transformadores de potencia se tiene un sobrante de aproximadamente el 1/3 en inventario que representa dinero.
3. En cuanto al recurso humano se puede apreciar que la mano de obra de los operarios está muy precisa, casi que no tiene margen de error, por lo que una incapacidad sería riesgoso para el cumplimiento. Por el lado de la mano de obra especializada, a pesar de manejar 40 horas semanales está muy amplia para el trabajo que se está desarrollando, se tiene aproximadamente un sobrante del 0.4 del tiempo del trabajo anual.
4. Por último, no era del interés de este trabajo si el número de equipos a producir da el punto de equilibrio financiero de la empresa, pero si no se alcanza, es el necesario tomar medidas en cuanto a la mano de obra - operarios - y manejo de materias primas básicas.

### Conclusiones

Este fue un trabajo muy interesante que a pesar de ser un problema lineal se contextualiza el conocimiento, al ser un caso real y tangible compromete a los autores a tener muchas precauciones y precisiones, porque a partir de este trabajo se pueden tomar decisiones trascendentales para una compañía.

De otra parte, en cuanto a lo académico este trabajo permite visualizar las bondades que se tiene con los diversos métodos de solución de problemas lineales, que al ser estudiados y evaluados enriquecen el conocimiento como parte del desarrollo doctoral, estas herramientas se convierten en alternativas que se pueden manejar en un momento dado para dar solución a un problema de cualquier rea.

En cuanto a los métodos de solución de problemas lineales utilizados en este trabajo se puede indicar que cada uno de ellos tiene sus bondades y sus falencias, sin embargo, dependiendo del problema a solucionar se puede tomar cualquier alternativa.

Parece muy interesante tener en Solver y Linprog dos alternativas para solucionar no solo problemas lineales sino que pueden solucionar problemas no lineales, algo que no ocurre con Simplex.

Por último, es muy importante la hoja de informe que genera Silver con la solución del problema, porque permite visualizar más fácilmente en que puntos se puede trabajar para mejorar la situación, pues finalmente es lo que más interesa al momento de tener un resultado numérico.

## Referencias

- [1] H. Kopka and P. W. Daly, "A Guide to LATEX", 3rd ed. Harlow, England: Addison-Wesley, 1999.
- [2] J. R. Salinas, O. Zubieta y J. Romero, "Problemas de programación lineal".
- [3] User Guide for Mathworks, Optimization Toolbox for use with MATLAB, 1990-2006.
- [4] D. Kalenatic y L. E. Blanco, "Aplicaciones Computacionales en Producción", 1rd ed. Fondo editorial, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1993.
- [5] G.D. KEppen, F.J. Gould, others, "Investigación de operaciones en la ciencia administrativa", 5rd Ed. Pearson, Prentice Hall, 2000.
- [6] H. Taha, "Investigación de operaciones", 9rd ed. Pearson, Always Learning, 2012.
- [7] F. S. Hillier, "Introducción a la Investigación de operaciones", 9rd ed. Mc. Graw Hill, 2010.
- [8] D. Luenberger, "Linear and Nonlinear programming", 3rd ed. Springer, 2008.
- [9] E. Chong, "An Introduction to optimization", 2rd ed. Wiley-Interscience, 2001.
- [10] D. Ovalle, "Curso de Optimización", 1rd Ed. Presentaciones de clase, 2015.

## De los autores

**Pablo Emilio Roza García:** Ingeniero electrónico – Universidad Antonio Nariño – Colombia. Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones – Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia, Especialista en Pedagogía y docencia Universitaria – Universidad La Gran Colombia – Colombia y Especialista en Administración de Empresas – Fundación Universitaria Los Libertadores – Colombia. E-mail: perozog@udistrital.edu.co

**Johann Alexander Hernández:** Ingeniero eléctrico – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia. Doctor en Ingeniería, Ingeniería Eléctrica – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia y Magister en Ingeniería, Ingeniería Eléctrica – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia. E-mail: jhernandez@udistrital.edu.co

**Diana Marcela Ovalle Martínez:** Ingeniero electrónico – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Doctor en Tecnologías Industriales – Universidad Politécnica De Cartagena – España y Magister en Ingeniería Eléctrica – Universidad De Los Andes – Colombia. E-mail: dmovalle@udistrital.edu.co

# Ruido en un canal de comunicaciones a través de líneas eléctricas de potencia -PLC -

Pablo Emilio Rozo García<sup>1</sup>  
Johann Hernandez<sup>2</sup>  
Sandro Bolaños<sup>3</sup>

## Resumen

La comunicación por líneas de potencia -PLC (Power Line Communication) es una de las tecnologías que ha permitido evolucionar la comunicación de datos. Sin embargo, debido a los diversos tipos de ruido que se manejan en este canal, no ha alcanzado un amplio auge comparado con otras tecnologías como las comunicaciones por fibra óptica o inalámbrica. Si bien se ha mitigado en alguna medida el ruido de fondo, de banda estrecha y el impulsivo, hay un tipo de ruido impulsivo - aperiódico - que aún no se ha logrado mitigar, al punto que es el causante de las caídas de las comunicaciones haciendo que esta tecnología no sea la más atractiva para los usuarios. En este artículo se realiza una revisión sobre el ruido presente en el canal de comunicación por líneas de potencia, haciendo mayor énfasis sobre el ruido aperiódico, debido a que es el que más dificultades tiene para su detección y caracterización, dado que su presencia es muy aleatoria y fuertemente ligada a conmutación de cargas de tipo lineal y no lineal sobre la red eléctrica, y por esta misma razón, hasta el momento no se ha establecido una estrategia lo suficientemente satisfactoria que permita su mitigación. Este documento es un aporte para que futuros trabajos planteen estrategias para detectar, caracterizar, modelar y plantear un proceso para mitigar el ruido aperiódico.

**Palabras claves:** ruido, detección, caracterización, modelación, mitigación.

<sup>1</sup> perozog@udistrital.edu.co

<sup>2</sup> johann.hernandez@udistrital.edu.co

<sup>3</sup> sbolano@udistrital.edu.co

## Introducción

La comunicación por líneas eléctricas es una tecnología antigua en el contexto mundial para la transmisión de datos. Las mismas empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica la han utilizado en procesos de medición y control de carga, dado que la comunicación se realiza a través de un conductor eléctrico que está regulada por la FCC/CENELEC ARIB y comités en EE.UU. /Japón y la UE (ver figura 1 y cuadro adjunto) y el estándar IEEE 1901.2 y ITU-T G.hnem para las Smart Grid.

Las comunicaciones por Líneas eléctricas han ganado su espacio al punto que cada vez hay más regulación hacia las mismas, se ofrecen servicios IP y transmisión de datos de alta velocidad, siendo el protocolo X-10 el estándar internacional para sus comunicaciones.

El inconveniente de este tipo de redes de comunicación está en el ruido presente en el canal, donde no solo están los propios por su naturaleza, sino que están los generados por condiciones exógenas al medio. Estos ruidos están clasificados en ruido de fondo, de banda estrecha y ruido impulsivo, donde el aperiódico es el más problemático.

Son diversas las investigaciones que se han realizado sobre el ruido impulsivo aperiódico, logrando determinar mecanismos para evitar la atenuación de la señal mediante correlaciones, reducir los niveles de S/N mediante repeticiones automáticas, mejorando las técnicas de modulación mediante OFDM, usando técnicas de recorte y equalización con IFFT, etc.[1,2,3]

Finalmente, como el problema no se ha podido mitigar totalmente, se sugiere un metamodelo como un marco de referencia basado en el paradigma del proceso, que permita mitigar el ruido impulsivo aperiódico y así mejorar la confiabilidad de este sistema de comunicación.

## Tecnología PLC (Power Line Communication)

La tecnología PLC es un conjunto de elementos y sistemas de transmisión que, basándose en una infraestructura de transporte y distribución eléctrica clásica, permite ofrecer a los clientes servicios clásicos de un operador de telecomunicaciones.

Esta tecnología puede alcanzar velocidades entre 1 y 1.5 Mbps por usuario particular, motivo por el cual se pueden ofrecer servicios IP y transmisión de datos de alta velocidad. [4]

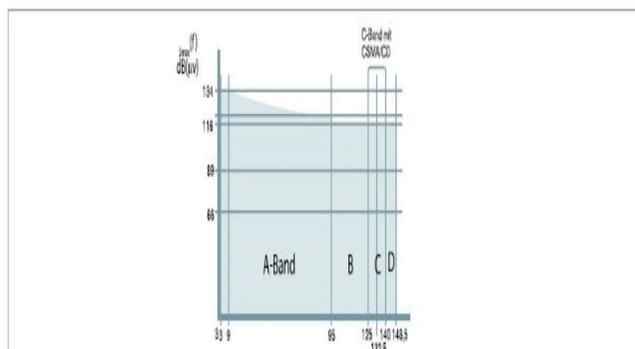
Lo requerido para lograrlo es acondicionar las infraestructuras eléctricas para que puedan transmitir los dos tipos de señal simultáneamente: por una parte, las de baja frecuencia (50 o 60 Hz) para la transmisión de energía y las de alta frecuencia (banda de 1 MHz) para la transmisión de datos [5,6], circulando ambas a través del hilo de cobre [7]. La red adaptada se denomina High Frequency Conditioned Power Network, HFPCN, permitiendo transmitir simultáneamente energía e información.

El protocolo de red IP se utiliza en las tres partes en que se compone la red eléctrica (tramos de baja, de media y de alta tensión), sin embargo, se utiliza con mayor interés en el tramo de baja tensión (o lo que en la red de telefonía se conoce como última milla [9]). En este Tramo se observa mayor utilidad para el usuario pues aquí se conectan las viviendas con las subestaciones transformadoras.

Las líneas de potencia son el medio más usado en los enlaces de las señales de onda portadora para los servicios de comunicación en plantas de generación y subestaciones de transformación y distribución.

Estas líneas ofrecen un mejor aislamiento y mayor fortaleza mecánica, así como también presentan bajos niveles de daño por condiciones atmosféricas. Por otra parte, corrientes de alta frecuencia deben ser enviadas por líneas de alta tensión a través de sistemas de acople, para evitar daños en equipos de transmisión y recepción, al igual que al personal técnico.

De igual manera, la frecuencia de transmisión ha de jugar un papel importante para aplicaciones tipo streaming (audio y video), de tal forma que para realizar multicast, PLC sería un excelente medio de transmisión. Pero además, considerando que diferentes flujos de tráfico (video, audio y e-mail, por ejemplo), podrían requerir diferentes prioridades en la red, la Calidad de Servicio (QoS) parece ser también la mejor alternativa [10]. Y si se piensa en la necesidad de escalar estas redes PLC, por su gran capilaridad y posibilidades de crecimiento, las capacidades de direccionamiento y, por ejemplo, de auto-configuración (entre otras) de IPv6, son la única forma de explotar las ventajas del conjunto de ambas tecnologías.



Banda	Frecuencia	Uso	Protocolo de acceso	Ejemplo
A	3-95 kHz	Reservado para suministradores de energía	No	
B	95-125 kHz	Para interiores sin protocolo de acceso	No	Interfonos
C	125-140 kHz		CSMA/CD	Línea blanca
D	140-148,5 kHz	Para alarmas y sistemas de seguridad	NO	

Fig. 1. Normas de regulación internacional del canal de comunicaciones PLC [8].

Esta tecnología es un medio para que los proveedores de electricidad puedan evaluar las ventajas de PLC y vislumbrar nuevos modelos de negocio y servicios que sean fácil y rápidamente implantados a gran escala. La banda ancha con PLC, IPv6 y QoS proporciona el medio para la creación de nuevos proveedores de servicios (las compañías eléctricas), en un mercado difícil, incrementando la percepción de calidad de servicio por parte del usuario e incrementando la competitividad. Al final, el usuario es el mayor beneficiario de estas tecnologías, que sin duda romperán las tendencias de la brecha digital. Además, la tecnología PLC puede ser una solución muy sencilla y asequible para la implantación de las estaciones base y punto de acceso para redes de nuevas tecnologías como 3G y WLAN (entre otras) [11], dado que donde se instalan, es preciso el suministro eléctrico.

Los primeros proyectos de transmisión de energía y datos fueron desarrollados entre los años 1976 a 1978, en Glenrothes Escocia, por los ingenieros de Pico Electronics Ltda y la empresa de sistemas de audio BSR. El propósito era controlar un dispositivo electrónico de forma remota [12,13].

Como resultados de sus estudios y experimentación nació el protocolo X-10 que se ha convertido en un estándar internacional. Las principales características de Power Line Communication son:

Tabla I  
Tabla de características de PLC

Características	Descripción
<b>Infraestructura</b>	No es necesario ningún tipo de obra adicional para poder disfrutar de esta tecnología de Banda Ancha, ya que se utiliza la propia red eléctrica para la transmisión de datos y voz.
<b>Cobertura</b>	No sufre de los inconvenientes de ADSL o cable que no llega en muchos casos al usuario final, ya que al estar implantada la red eléctrica permite llegar a cualquier punto geográfico [14].
<b>Conectividad</b>	Se dispone de una única toma a la cual se conecta un modem con tecnología PLC.
<b>Acceso</b>	La conexión es permanente durante las 24 horas del día.
<b>Instalación</b>	Su instalación por parte del cliente es sencilla y rápida.
<b>Ancho de Banda</b>	El ancho de banda es de 45 Mbps aunque actualmente ya se alcanzan velocidades de 135 Mbps y en breve se llegara a 200 Mbps, permitiendo la distribución de datos, voz y video de manera rápida y confiable [15].
<b>Servicios</b>	Posibilidad de implementar servicios como Internet a altas velocidades, telefonía VoIP (Voz sobre IP), Videoconferencias, VPN's, Redes LAN, Games online, Teletrabajo y comercio electrónico [16].

Todo lo anterior, esta tecnología de comunicación puede ser una excelente realidad, sin embargo, uno de los problemas de las PLC -Power Line Communications- es el ruido, pues este genera inconvenientes como son alteración de la información, pérdida de información y en otros casos más graves la pérdida de la comunicación. Por esta razón se hace muy necesario que se pueda detectar, caracterizar y mitigar el ruido de fondo, el ruido de banda estrecha y el ruido impulsivo que se presenta en este canal de comunicación, donde el ruido impulsivo aperiódico es el más grave de ellos, pues genera continuas pérdidas de la comunicación.

### Problemática de las líneas de potencia como canal de comunicaciones

La utilización de las redes eléctricas como canal de comunicación de banda ancha es una excelente alternativa en redes de área local en domicilios y oficinas, además de poseer una alta velocidad en redes de telecomunicaciones WAN, Domótica avanzada, etc., Sin embargo, el éxito de esta de tecnología de comunicación radica en que se adapte convenientemente a las técnicas de transmisión y recepción convencionales.

El canal de comunicaciones es eficiente en la medida que se puedan controlar varios factores puntuales, como los que se pueden observar en la figura 2.

El factor que centra este estudio corresponde a los medios físicos. Hay dos problemas que existen al interior de las redes eléctricas internas (residenciales): por una parte la privacidad de la información y por otra la interferencia electromagnética. Suele suceder que la señal se escapa de su propia instalación a

través de la acometida y por radiación ingresa en la de los vecinos. La atenuación que presentan los interruptores automáticos y diferenciales es muy pequeña, y los contadores introducen pérdidas muy pequeñas pero no proporcionan un buen aislamiento. Para mitigar y garantizar una buena privacidad se puede pensar en combinar Hardware (filtros) y Software (encriptación), y en cuanto a la interferencia electromagnética establecer mascaradas de densidad espectral de potencia transmitida que proteja las bandas de frecuencia.

Una de las causas que no ha permitido que esta técnica de transmisión de datos haya alcanzado su auge es la radiación de señales, pues la regulación internacional [17] pensó en la prevención de interferencias, pero no garantizó la transmisión de información en sistemas de banda ancha. Posteriormente habilitó la banda entre 10 y 30 Mhz para comunicaciones interiores y de 1.6 a 10 Mhz para acceso a redes WAN, pero no se ha definido su emisión [18].

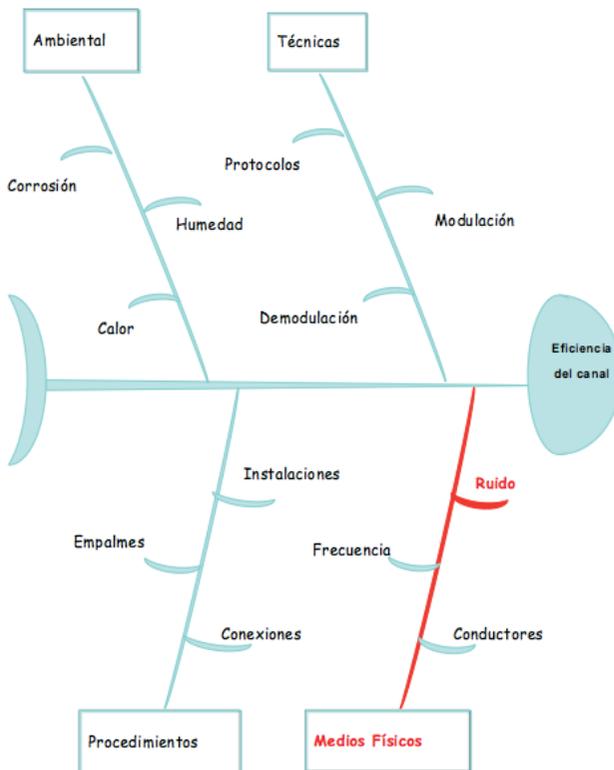


Fig. 2. Identificación del problema del canal de comunicaciones PLC.

Las limitaciones de potencia transmitida [19] se han tratado de mitigar con las técnicas de espectro ensanchado, sin embargo no son tan afectivas por la poca eficiencia espectral. Con esta técnica, la señal se reparte en la banda de frecuencias del canal y muy buena parte se pierde por las regiones

de alta atenuación. Por otra parte, se presenta el efecto cercano-lejos en entornos multiusuario donde la señal tiende a enmascarse cuando la señal proveniente de un transmisor cercano y alcanza un receptor de la red local.

Es necesario revisar el esquema en la monoportadora, por los regímenes binarios que demandan las nuevas aplicaciones sobre las redes eléctricas, se tendría que combatir un nivel de interferencia entre símbolos que difícilmente se podría reducir con igualación de banda ancha.

La distorsión del canal se puede mitigar con esquemas multiportadora que dividan el ancho de banda global en subcanales, de tal forma que se puedan considerar la respuesta plana en ellos. Por esta razón, se tienden a implementar los sistemas DMT (Discrete MultiTone) que utilizan un igualador en frecuencias de un coeficiente para cada subcanal FEQ, Frequency Equalizer [20]. En pruebas experimentales demuestra que se pueden transmitir varias decenas de Mb/s con estos esquemas [21,22]. Finalmente, siendo este el problema que se quiere tratar, aparece la incertidumbre sobre las propiedades del canal, por una parte debido a la ubicación de la misma, y por otra, los cambios provocados por la conexión y desconexión de los aparatos eléctricos. Esto indica que se deben incorporar técnicas de transmisión adaptativas para que el sistema sea eficiente y robusto. Estas pueden ser tratadas maximizando la capacidad mediante el ajuste de la velocidad de transmisión de cada subcanal según cambie su relación señal a ruido [23] o garantizando la velocidad de transferencia de información ajustando la calidad de la señal para aplicaciones de tiempo real. Teniendo en cuenta lo anterior, es que se hace necesario detectar el ruido presente sobre el canal de comunicaciones y de esta forma caracterizar el mismo para encontrar alguna técnica de mitigación.

En virtud a lo anteriormente señalado, se puede indicar que en las comunicaciones por líneas eléctricas - PLC -, al igual que en cualquier otro medio de comunicación, su rendimiento se ve afectado por tres factores: la atenuación, los trayectos múltiples y el ruido [24].

### Ruido en el canal de comunicaciones PLC

En la figura 3 podemos ver una clasificación de los ruidos en este medio de comunicación.

Como se puede observar, el ruido en estos canales está clasificado en tres grupos: el ruido de fondo, el ruido de banda estrecha y el ruido impulsivo. En el

ruido impulsivo se encuentra otra clasificación: los ruidos impulsivos periódicos síncronos y asíncronos con la red eléctrica, y los ruidos aperiódicos, siendo estos últimos los más críticos en el canal, ya que son los que ocasionan pérdidas de la comunicación.

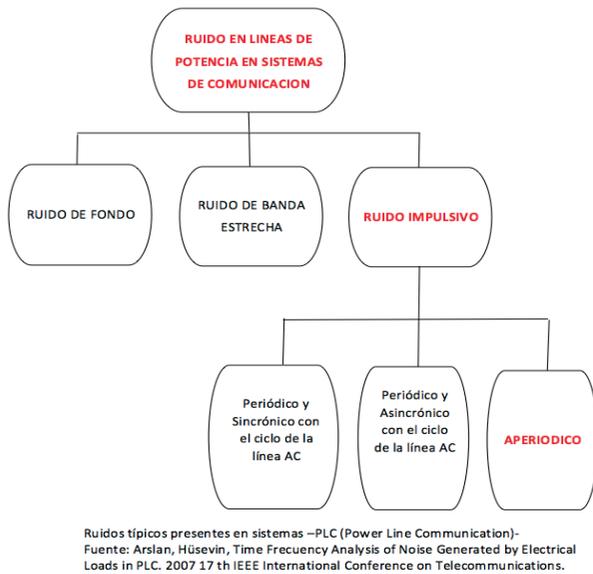


Fig. 3. Clasificación del ruido en el canal de comunicaciones por líneas de potencia - PLC -.

**El ruido de fondo** tiene una densidad espectral de potencia baja con la particularidad de presentar decrementos con la frecuencia, es decir que este ruido es fuertemente dependiente de la frecuencia.

**En el ruido de Banda Angosta**, la forma de onda es sinusoidal con amplitudes moduladas. La causa de este ruido es la radiodifusión como radio, televisión y transmisiones de onda corta.

El ruido impulsivo periódico, asíncrono a la frecuencia principal, tiene forma de impulsos con frecuencia de repetición entre 50 y 200 kHz. El ruido se presenta en el espectro como impulsos discretos espaciados de acuerdo con la frecuencia de repetición. Se genera con el encendido y apagado de fluido eléctrico.

**El ruido impulsivo periódico, sincrónico** a la frecuencia principal, se presenta como impulsos con frecuencia de repetición ente 50 y 100 Hz y son síncronos con la frecuencia principal del fluido eléctrico. Estos impulsos son de corta duración y tienen una densidad espectral que decrece con la frecuencia. Este ruido se genera por la operación de los convertidores de potencia.

**En el ruido impulsivo asíncrono (Aperiódico)**, los impulsos son causados por las conmutaciones transientes en la red eléctrica, su duración va desde algunos microsegundos a varios milisegundos. La densidad espectral de potencia puede alcanzar los 50 dB por encima del ruido de fondo, siendo esta la principal causa de errores en las comunicaciones digitales.

De igual forma, estos ruidos se pueden separar en dos grandes grupos: el ruido impulsivo periódico asíncrono y aperiódico, pues son de corta duración entre milisegundos o microsegundos, mientras que los otros tienen una duración entre segundos, minutos e incluso horas, siendo estos últimos denominados, "Ruido de fondo generalizado" y los primeros, "Ruido impulsivo". En la figura 4 se muestra un modelo de densidad espectral del ruido de fondo generalizado. En la figura 5 se muestra un ejemplo de ruido impulsivo en el dominio del tiempo en una red PLC. De igual forma, para poder establecer las características estadísticas de los parámetros del ruido, es necesario tener una distribución de probabilidad del ancho del pulso y su distribución entre llegadas en función del tiempo. En la figura 6 se puede apreciar un ejemplo que representa el tiempo entre dos impulsos sucesivos.

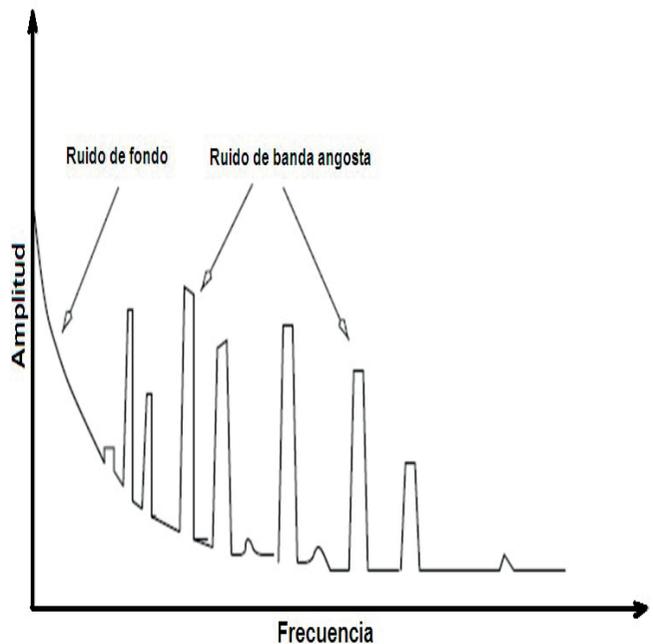


Fig. 4. Modelo de densidad espectral para ruido de fondo generalizado [25]

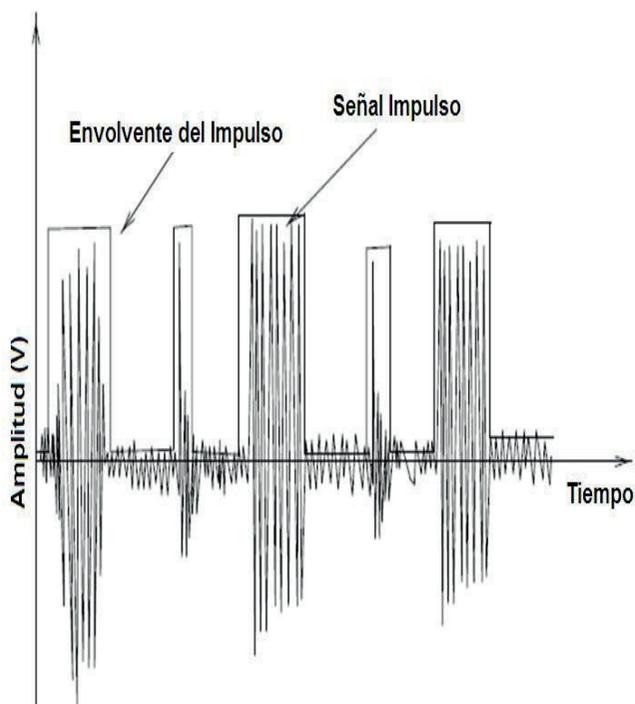


Fig. 5. Ejemplo de ruido impulsivo en el dominio del tiempo [26]

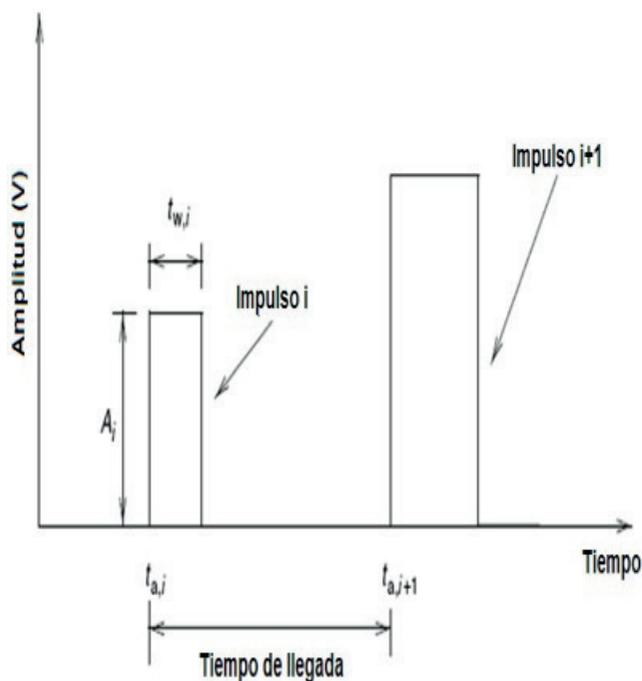


Fig. 6. Modelo del impulso para ser utilizado para establecer el ruido impulsivo [27]

### Tratamiento del ruido aperiódico en el canal de comunicaciones PLC

Se han hecho varios estudios para reducir la incidencia del ruido en los canales de comunicación a través de líneas de potencia, obteniéndose buenos resultados con el ruido de

fondo y el ruido de banda angosta [1, 28, 29, 30, 31, 32]. Sin embargo, como el interés de estudio está alrededor del ruido impulsivo, y concretamente el aperiódico, se mencionan algunas investigaciones que se han realizado con referencia a los ruidos impulsivos.

En cuanto a los ruidos impulsivos periódicos (sincrónicos y asincrónicos) se han hecho varias investigaciones para mejorar los problemas de atenuación y ruido. Entre estas se destaca la estrategia de correlacionar los canales del sistema de comunicación a partir del log-normal combinada, utilizando el modelo de Bernoulli [33], con lo que se mejora la fiabilidad pero se cae el rendimiento con múltiples canales.

También se ha tratado el ruido impulsivo en el transmisor y no en el receptor con la técnica de PAPR (reducción del pico del cociente de potencia media) [34], con lo que se obtiene mayor robustez, se minimiza la probabilidad de error y la S/N aumenta a la salida, aunque sin embargo demanda una alta complejidad computacional.

Para mitigar el ruido impulsivo se ha planteado implementar la técnica de corrección de códigos de error, a partir de repeticiones automáticas, con el inconveniente que deteriora la velocidad del sistema o a partir de adaptar la decodificación de canal iterativa robusta con códigos de turbo (TC) y de comprobación de paridad de baja densidad códigos (LDPC) [35]. Sin embargo, esto aplica para una sola portadora. Dado lo anterior, se propone la estimación de parámetros de mezcla gaussiana para cierta ocurrencia de impulsos, y para ambientes muy fuertes de impulsos, se propone el método basado en la detección de impulsos sobre los portadores nulos.

Por otra parte, se ha tratado de minimizar el efecto del ruido impulsivo en el canal de comunicaciones a través de su compresión dentro del espectro de OFDM en el canal de banda ancha [1], obteniendo relativamente buenos resultados.

Otra opción para manejar el ruido impulsivo debido a las continuas variaciones de la impedancia es aumentando la relación señal ruido, y esto se logra aumentando en nivel de la señal (EMC). De igual forma, aumentando el nivel de la señal teniendo en cuenta la frecuencia de trabajo, pues la impedancia cambia dependiendo de esta, y se hace preferiblemente cuando se tengan niveles altos de la señal (50 dBV), donde se pueden manejar más de 30 MHz [2].

Dado que el ruido impulsivo es el responsable de degradar las comunicaciones, este tiene una tasa

de ocurrencia al azar, con densidad espectral de alta potencia (PSD) y una corta duración. Pero cuando la frecuencia excede la longitud de la señal del símbolo puede afectar seriamente a las comunicaciones de alta velocidad. Se ha aplicado la técnica de SCFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia con portadora única) con procesos de compresión y recorte, encontrando que es superior sobre los sistemas OFDMA convencionales, pues se aumenta la salida SNR entre 3dB y 4dB [36].

Otra posible forma para contrarrestar el efecto de la atenuación y ruido impulsivo es a partir de la técnica de recorte y ecualización. La secuencia de datos binarios se modula a través de un codificador convolucional y se aplica un sistema PSK. Cada dato se suma a través de la transformada inversa rápida de Fourier (IFFT). Esta señal es convertida a analógica y se transmite a través de las líneas eléctricas. Ahora el ruido impulsivo se mitiga a través del recorte y el bloque del ecualizador. La señal recibida es recuperada como el flujo de datos original mediante FFT. [3]. Con esta técnica se puede obtener un buen nivel de BER lo que puede ser aplicado para reducir el ruido de impulso en sistema de PLC dentro de una red de datos.

Para efectos de modelar los ruidos impulsivos se han realizado algunos tratamientos como el modelo numérico variante en el tiempo, desarrollado mediante el uso de la dispersión parámetros en el dominio wavelet [37]. El método propuesto utiliza la descripción de N-puertos de los elementos que constituyen los distintos intervalos de tiempo del sistema PLC en términos de matrices reales con elementos constantes. Esto representa una alternativa válida a la descripción del dominio de tiempo, que por lo general es adoptado para el análisis de redes de tiempo variable. Los resultados obtenidos a partir de otros modelos numéricos y con datos experimentales han confirmado la exactitud y la eficiencia del método propuesto [37].

Se realizó un estudio de un sistema multitrayecto con el fin de comparar entre la modulación OFDM (Modulación por División de Frecuencia Ortogonal) con DWT (Transformada Discreta Wavelet) y con DFT (Transformada Discreta de Fourier). Los parámetros a comparar son la tasa de Error de Bit (BER), la densidad de potencia espectral (PSD) y el radio de potencia media (PAPR). El resultado de este estudio es que el BER y el PSD son mucho mejor en DWT-OFDM que los resultados obtenidos con DFT-OFDM [38].

En otro trabajo desarrollado en [39], se desarrolló un modelo estadístico del ruido asincrónico basado en las propiedades físicas de la red PLC. Para ello

se validó la distribución utilizando lo simulado y lo medido con datos de ruido PLC. La exactitud de los modelos estadísticos se establece mediante la comparación de las probabilidades de cola empíricas, basado en los datos simulados Montecarlo y la cola analítica de probabilidades predichas por modelos derivados. La comparación de las dos probabilidades de cola se realizó con un número de las fuentes de interferencia de 5 a 15. Con la comparación se llegó a que las curvas coincidían con muy poca desviación, y que a mayor número de clases de interferencias, la probabilidad se incrementaba. Se llegó a que los modelos que se pueden utilizar son: Mezcla de Gauss y Middleton Clase A [40]. Sin embargo, la escogencia de alguno de estos depende del tipo de red.

En otros análisis del ruido se combinan técnicas de dominio en frecuencia y tiempo en bandas de 25 MHz. Los análisis en el tiempo generan estadísticas entre llegadas, ancho de pulso y amplitud de pulso, pero no se analiza la mezcla de impulsos periódicos y no periódicos, no se distingue entre ruidos síncronos y asíncronos. Los análisis en la frecuencia permiten determinar la PSD (Densidad espectral de potencia) y en cada intervalo de tiempo los picos espectrales, la estimación de la tasa de repetición y las formas de onda del pulso. [41].

Por otra parte, se ha estudiado que los ruidos se pueden tratar con modelos cicloestacionarios basados en la adaptación de la PSD (Densidad espectral de potencia) y la caracterización de la PDF (Función de densidad de probabilidad). Se estima el rendimiento de la tasa de error BER en el sistema de comunicación utilizando modelos cicloestacionarios en redes interiores. Como el ruido es una combinación de varios procesos estadísticos, estos se pueden modelar como modelos basados en PDF y modelos basados en PSD [41].

Para poder mitigar el ruido aperiódico, se plantea un metamodelo que permita realizar una serie de actividades, que conlleven a atenuar el nivel de ruido en la señal en una comunicación digital por líneas de potencia.

### **Metamodelo sugerido desde la detección hasta la mitigación del ruido aperiódico en el canal de comunicaciones PLC**

A continuación se presenta un metamodelo general para la experimentación de cada una de las fases que se pueden realizar para lograr el objetivo de detectar el ruido aperiódico, su posterior modelamiento y mitigación.

En la figura 7 se muestra el metamodelo planteado.

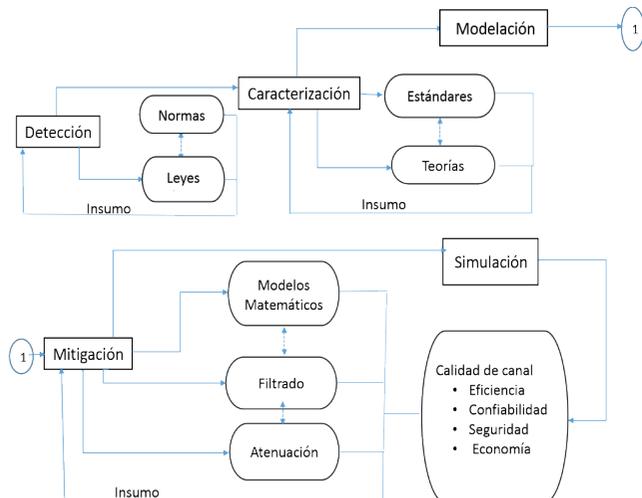


Fig. 7. Metamodelo para detección, caracterización, modelamiento y mitigación del aperiódico del canal de comunicaciones PLC.

En este metamodelo se puede apreciar que hay cinco (5) procesos: Detección, Caracterización, Modelación, Mitigación y Simulación. Cada proceso tiene sus características, como en el caso de la detección, donde hay unas normas y leyes que rigen este medio, bien sea por condiciones naturales del mismo, como por normativa estatal, y como todo sistema de control, la retroalimentación es clave para ajustar el proceso que va a dar paso a la caracterización del ruido. En este proceso se requiere de estándares y teorías que rigen el ruido. De igual forma este proceso da paso al modelamiento, el cual de estar bien definido, debe conducir a plantear una estrategia de mitigación del mismo, aplicando modelos matemáticos, filtrado y atenuación. Una vez se mitigue el ruido aperiódico se puede indicar que se logra un canal e calidad pues se empieza a brindar Eficiencia, Confiabilidad, Seguridad y Economía, entre otros.

Para desarrollar la detección del ruido aperiódico se propone lo siguiente:

#### A. Etapa de laboratorio:

Una primera etapa corresponde a nivel de laboratorio, para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

1. Realizar la detección del ruido en forma individual de los diferentes componentes que se pueden conectar una red eléctrica de 60Hz,

es decir, cargas lineales y no lineales sin dejar de lado el ruido generado en cada estado de la carga.

2. Realizar la detección del ruido en forma colectiva de los diferentes componentes de una red eléctrica de 60 Hz, sin dejar de lado el ruido generado en diferentes estados de las cargas.
3. Generar una base de datos con los comportamientos de los componentes que se involucraron en la red eléctrica. Estos puede ser tomado en tiempo real, o si es el caso en procesos diferidos, de tal forma que se pueda realizar un análisis para situaciones instantáneas como de una tendencia en un lapso de tiempo.

Realizar la caracterización en forma individual de las diferentes cargas que se involucraron sobre la red eléctrica, es decir, las diferentes cargas lineales y no lineales que generaron un ruido representativo.

4. Realizar la caracterización en forma colectiva de los diferentes cargas incorporadas a la red eléctrica.
5. Generar una base de datos con los comportamientos de los componentes de la red. Estos puede ser tomado en tiempo real, o si es el caso en procesos diferidos, de tal forma que se pueda realizar un análisis para situaciones instantáneas como de una tendencia en un lapso de tiempo.

#### B. Etapa de caso real:

Una segunda etapa corresponde a nivel de etapa de caso real en un entorno residencial. A continuación, en las figuras 8 y 9 se presenta un metamodelo general, para la experimentación de cada una de las fases que se pueden realizar para detectar el ruido aperiódico a partir de los experimentos en una residencia en un entorno totalmente real para su posterior modelamiento y mitigación, para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

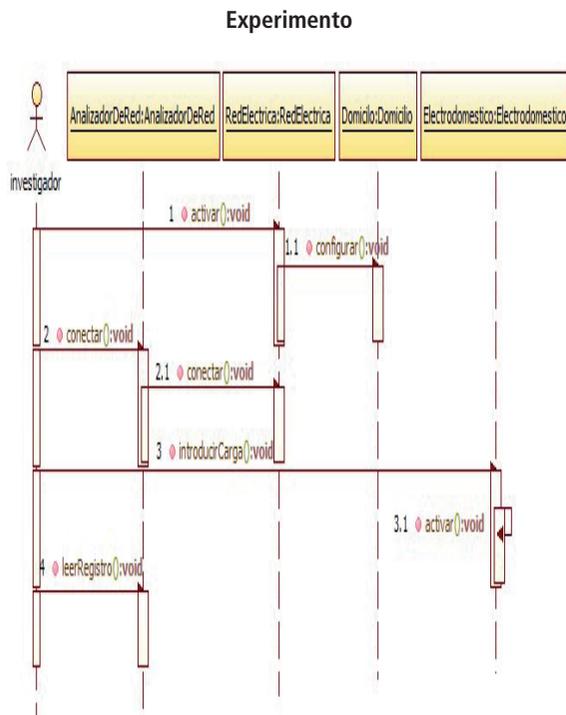


Fig. 8. Diagrama del experimento general para detección del ruido aperiódico (en secuencia de actividades).

1. El hogar seleccionado debe tener un amplio surtido de electrodomésticos, de tal forma que involucren cargas tanto lineales como no lineales. Como mínimo debe tener lavadora, nevera, licuadora, horno microondas, ducha eléctrica, estufa eléctrica, televisores, equipos de cómputo, sistemas de iluminación, aspiradora y otros.
2. Se realizara a través de un equipo de monitoreo un estudio de los ruidos que se presentan en las líneas de potencia, en condiciones cotidianas. Este monitoreo debe ser durante un tiempo prudencial (mínimo durante una semana), con lo que se puede obtener una buena muestra de lo sucedido en la red en cuanto a perturbaciones por las constantes conmutaciones de cargas que conllevan a la variación de la impedancia en el tiempo.

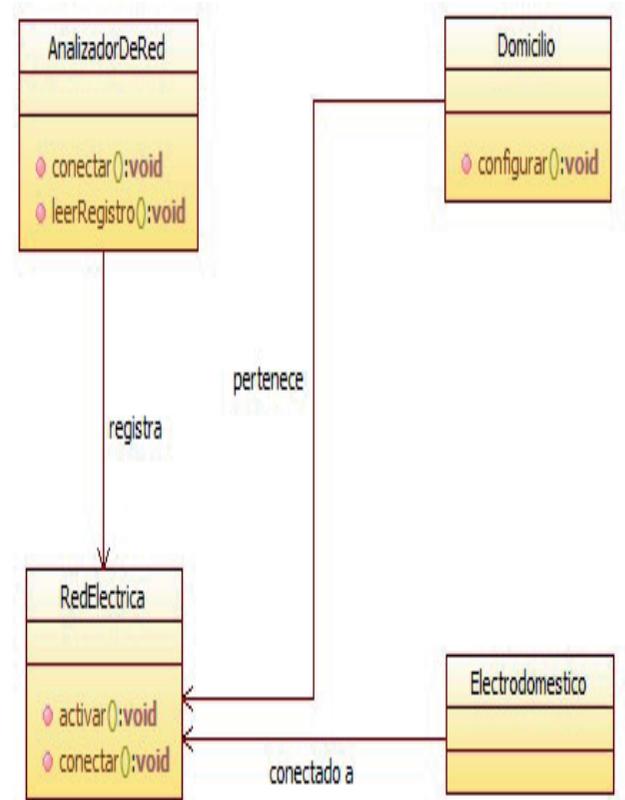


Fig. 9. Diagrama del experimento general para detección del ruido aperiódico (por acción).

3. Generar una base de datos con los comportamientos de los componentes de la red, de tal forma que se pueda realizar un análisis para situaciones instantáneas como de una tendencia en un lapso de tiempo.
4. Establecer una comunicación de datos permanente y monitorear el comportamiento de la misma en un entorno cotidiano, para determinar si la red se cae, y de ser así consolidar las condiciones en las que se presentó esta situación.
5. Realizar la caracterización de la red eléctrica junto con la red de datos. Se deben involucrar las perturbaciones que se presentan en las líneas eléctricas. Es importante manipular las comunicaciones a diferentes velocidades, con el fin de monitorear su comportamiento
6. Generar una base de datos con los comportamientos de la red a diferentes velocidades.

**C. Análisis con respecto a las propuestas de detección del ruido.**

1. Este trabajo denota varias fases como se

presentaron en el metamodelo tanto a nivel de laboratorio como en el entorno real, para el caso de este artículo. El objetivo es mostrar una metodología para obtener una información importante para la caracterización del ruido aperiódico.

2. Es necesario realizar los experimentos con cargas de diversos tipos, es decir, lineales y no lineales para tener una visión clara para las condiciones de una red.
3. Es importante tener en cuenta que si bien las cargas son lineales y no lineales, estas no siempre están solas en una red eléctrica, por lo que es clave tener un entorno real para ser comparado con los experimentos del laboratorio.
4. La base de datos es el insumo para desarrollar unos procesos matemáticos que permitan caracterizar una red de datos en un canal de comunicaciones en diferentes velocidades de comunicación.
5. El resultado obtenido en la caracterización permitirá generar un modelo del ruido aperiódico que al ser pasado por un instrumento computacional permita obtener estrategias de mitigación para reducir los niveles de ruido que se introducen a la red, que a la postre deterioran el desempeño de una red de datos por líneas de potencia.

## Conclusiones

El presente trabajo presenta una revisión del estado de las comunicaciones a través de las líneas de potencia, donde se aprecia que es una tecnología que ha evolucionado como todos los otros medios de comunicación, cumpliendo tareas importantes que dan solución a las necesidades de los usuarios.

De igual forma, se puede ver que los sistemas PLC, a pesar de haber evolucionado, conviven con limitaciones como la variación de impedancia, naturaleza del canal, ruido blanco de la naturaleza, atenuación de acuerdo con la frecuencia de trabajo y cambios de fase entre arquitecturas interiores y exteriores. Con el fin de mejorar la confiabilidad de esta tecnología, se han atacado los ruidos presentes en el canal de comunicación. Sin embargo, el ruido aperiódico es el más complejo de todos, pues parte desde la misma detección, hasta el poder plantear algún modelo para mitigar el problema. Se han realizado una serie de estudios que han permitido avanzar en el problema del ruido impulsivo aperiódico, pero sin embargo no se tiene uno que

pueda dejar en mejores condiciones el medio. Con el fin de llegar a plantear una estrategia de mitigación, se sugiere un metamodelo que permita llevar una secuencia de actividades que conlleven a plantear alguna estrategia para este fin.

## Referencias

- [1] J. Matanza, S. Alexandres, C. Rodríguez-Morcillo "Compressive Sensing Techniques Applied to Narrowband Power Line Communications", IEEE 2013.
- [2] P. A. C. Lopes, J. M. M. Pinto, and J. B. Gerald, "Dealing With Unknown Impedance and Impulsive Noise in the Power-Line Communications Channel", IEEE, 2013.
- [3] Y. Kim, J. N. Bae, and J. Y. Kim, "Performance of Power Line Communication Systems with Noise Reduction Scheme for Smart Grid Applications", IEEE, 2011.
- [4] F. Sandoval Cuervo, "PLC Como oportunidad para el desarrollo de las Ciudades Digitales", II Foro Ciudades Digitales. ENDESA NET FACTORY, Mayo 31 de 2005.
- [5] R. E. Abbott, "High Speed Power Line Communication", IEEE Power Engineering Society. Summer Meeting 2002. Vol 3
- [6] N. Pavlidou, "Power Line Communication: State of the art and future Trends", IEEE Communications Magazine. Abril 2003.
- [7] A. Veá Baró, "Evolución de la Tecnología de acceso a Internet", Mayo de 2002.
- [8] V. H. Serna. (2015, Diciembre). "Revista Técnica Industrial, "Comunicaciones a través de la red eléctrica", T5312.
- [9] K. Dostert, "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, New Jersey: 2001.
- [10] IEEE Std 802.1Q-199, "IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Virtual Bridged Local Area Networks", Mar, 1999.
- [11] J. Palet Consulintel, <http://www.6power.org>, 2005.
- [12] <http://www.domoticausuarios.es/historia-de-la-domotica/1123>.
- [13] <http://www.domoprac.com/protocolos-de-comunicacion-sistemas-domoticos/historia-de-la-domotica-pasado-presente-y-futuro.html>.
- [14] M. Torres. (2004, Febrero), "Revista de derecho informático". ISSN 1681-5726, No. 067.
- [15] A. S. Tanenbaum, "Redes de Computadoras", Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, 1997.
- [16] A. Sánchez Rodríguez, "Análisis comparado de la regulación de los mercados de electricidad y las telecomunicaciones". 2002.
- [17] CENELEC, "Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of information technology equipment". EN 50022, 1994.
- [18] ETSI, "Powerline telecommunications (PLT). Coexistence of

access and in-house powerline systems”, TS 101 867 V1.1.1, 2000.

[19] P.K. Van der Gracht y R.W. Donaldson, “Communication using pseudonoise modulation on electric power distribution circuits”. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, pag. 964974, septiembre 1985.

[20] J.A. Cortes, L. Díez, F.J. Cañete, y J.T. Entrambasaguas. “System parameters effect on DMT-based broadband indoor power line communications”. En International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, pag. 4852. ISPLC 2002, Atenas (Grecia)

[21] F.J. Cañete, L. Díez, J.A. Cortes, y J.T. Entrambasaguas. “Broadband modelling of indoor power-line channels”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, pag.175183, febrero 2002.

[22] F.J. Cañete, J.A. Cortes, L. Díez, y J.T. Entrambasaguas, “Modeling and evaluation of the indoor power-line channel”, IEEE Communication Magazine, pag.4147, abril 2003.

[23] J.A. Cortes, L. Díez, F.J. Cañete, y J.T. Entrambasaguas. “Bitloading algorithm for DMT broadband indoor power line communications”, En International Association of Science and Technology for Development (IASTED) International Conference on Communication Systems and Networks, pag. 278282. IASTED 2002, Málaga.

[24] S. Guzelgoz, H. B. Celebi, T. Guzel, H. Arslan, and M. Kvanck Mhcaak, “Time Frequency Analysis of Noise Generated by Electrical Loads in PLC”, 17 th International Conference of Telecommunications 2010.

[25] T. Banwell, S. Galli, “A new approach to the modelling of the transfer function of the power line channel”, Proceedings of the 5th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC), Malmo, Sweden, 319324 April 46, 2001.

[26] E. P. Guillen, J. López, C. Barahona, “Analysis over Power Line Communication Channel in an Electric Noisy Scenario”. World Academy of Science, Engineering and Technology, Volume 33 September 2008 ISSN 2070-3740.

[27] H. Hrasnica, A. Haidine, R. Lehnert, “Broadband Power line Communications Networks”. NJ USA: John Wiley & Sons Ltd, 2004. 273 p. ISBN 0-470-85741-2.

[28] J. Matanza, K. Sila, S. Alexandres, C. Rodríguez-Morcillo “Simulation of low-voltage Narrow Band Power Line Communications Networks to Propagate OpenADR Signals”, Journal of Communications and Networks, Vol 17, N0. 6. 2015.

[29] R. Aashmat, P. Pagani, T. Chanavel and A. Zeddami. “Analysis and Modeling of Background Noise for Inhome MIMO PLC Channels”, IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications 2012.

[30] M. Bogdanovic and S. Rupid. “Generalized Background Noise Modeling in Power Line Communication”, 20th Telecommunication Forum TELFOR 2012.

[31] M. Jani, P. Garg and A. Bansal. “Performance analysis of a PLC system over log-normal fading channel and impulsive noise”, International Conference on Computing and Network Communications, 2015.

[32] A. Mathur, M. Bhatnagar and B. Panigrahi. “Performance Evaluation of PLC Under the Combined Effect of Background and Impulsive Noises”, IEEE Communications Letters, Vol 19, N0. 7,

July 2015.

[33] A. Dubey, R. K. Mallik, R. Schober, “Performance analysis of a power line communication system employing selection combining in correlated log-normal channels and impulsive noise”, Published in IET Communications, Accepted on 9th January 2014, ISSN 1751-8628

[34] K. M. Rabie and E. Alsusa, “Efficient SLM Based Impulsive Noise Reduction in Powerline OFDM Communication Systems”, IEEE 2013.

[35] G. Ndo, P. Siohan, and M. Hamon, “Adaptive Noise Mitigation in Impulsive Environment: Application to Power-Line Communications”, IEEE, April 2010.

[36] K. M. Rabie and E. Alsusa, “Single-Carrier FDMA with Blanking/Clipping for Mitigating Impulsive Noise Over PLC Channels”, IEEE, 2014.

[37] S. Barmada, A. Musolino, M. Raugi, R. Rizzo, and M. Tucci, “A Wavelet Based Method for the Analysis of Impulsive Noise Due to Switch Commutations in Power Line Communication (PLC) Systems”, IEEE, 2011.

[38] S. Mousavi, A. Kiani, B. Zanj, G. Baghersalimi, “Performance Evaluation of DWT-OFDM in Multipath PLC Channel Under Impulsive and Narrowband Noise”, IEEE, 2012.

[39] M. Nassar, K. Gulati, Y. Mortazavi and B. L. Evans, “Statistical Modeling of Asynchronous Impulsive Noise in Powerline Communication Networks”, IEEE, 2011.

[40] J. A. Cortes, L Díez, F. J. Cañete and J. L., “Analysis of the Periodic Impulsive Noise Asynchronous with the Mains in Indoor PLC Channels”, IEEE 2009.

[41] F. Gianaroli, F. Pancaldi and G. M. Vitetta, “The impact of statistical noise modeling on the Error-Rate performance of OFDM power line communications”, IEEE, 2009.

## De los autores

**Pablo Emilio Rozo García:** Ingeniero electrónico – Universidad Antonio Nariño – Colombia. Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones – Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia, Especialista en Pedagogía y docencia Universitaria – Universidad La Gran Colombia – Colombia y Especialista en Administración de Empresas – Fundación Universitaria Los Libertadores – Colombia. E-mail: perozog@udistrital.edu.co

**Johann Alexander Hernández:** Ingeniero eléctrico – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia. Doctor en Ingeniería, Ingeniería Eléctrica – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia y Magister en Ingeniería, Ingeniería Eléctrica – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia. E-mail: jhernandez@udistrital.edu.co

**Sandro Javier Bolaños Castro:** Ingeniero de sistemas, profesor de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magister en Teleinformática – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Doctor en Informática – Universidad Pontificia de Salamanca – España. bsandrojavier@gmail.com

# Clasificación de una imagen satelital empleando máquinas de soporte vectorial para cuantificar el área de *Pinus Patula* en una plantación

Classification of a satellite image using Vector Support Machines to quantify *Pinus patula's* area in a plantation



Orlando Riaño Melo<sup>1</sup>  
Carlos Daniel Acosta Medina<sup>2</sup>  
Robert Orlando Leal Pulido<sup>3</sup>

## Resumen

En este artículo se muestran los resultados obtenidos con el método de Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), aplicado para clasificar una imagen de una plantación de *Pinus patula* en Antioquía (Colombia). El clasificador SVM empleó como kernel la función de base radial en la solución del problema de clasificar coberturas del suelo. La clasificación se realizó de manera supervisada tomando 1500 puntos de entrenamiento dentro del área de estudio que incluyeron seis clases de cobertura. La evaluación de exactitud temática obtenida se realizó a partir de 3000 puntos de validación. El estudio indica que el índice Kappa para la clasificación con el algoritmo SVM fue de 0,94, que se considera muy bueno y un porcentaje correctamente clasificado (PCC) del 96,26%.

**Palabras clave:** Función Kernel, hiperplano, Máquinas de Soporte Vectorial, vectores de soporte.

## Abstract

This article shows the results obtained with the method Support Vector Machines (SVM), which is applied to classify an image of a *Pinus patula's* plantation in Antioquía (Colombia). The SVM classifier used the kernel as radial basis function in the solution of the problem of classifying the land covering. The classification was performed under supervision, taking 1500 training points randomly within the area of study, including six cover classes. The thematic accuracy test obtained, was made starting at 3000 validation points. The study indicates that the Kappa index for classification with the SVM algorithm; was 0,94, which is considered as good and a correctly qualified percentage (PPC) of 96,26%.

**Keywords:** Kernel function, hyperplane, Support Vector Machines (SVM), support vectors.

1 orianom@unal.edu.co  
2 cacostam@unal.edu.co  
3 rolealp@udistrital.edu.co

## Introducción

Los métodos estadísticos de mínima distancia y máxima verosimilitud, ampliamente usados para clasificar imágenes de percepción remota tienen algunas limitaciones, particularmente relacionadas con las hipótesis de distribución normal y restricciones a los datos de entrada [1], [2], [3]. Diversos estudios han demostrado que los sistemas expertos, las Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), entre otros, pueden emplearse como métodos alternativos, con buenos desempeños, para resolver problemas de clasificación y de regresión en los que se han aplicado los enfoques tradicionales [4], [2], [3]. En los años recientes, las SVM han venido ganando terreno y reconocimiento [5], [6]. La teoría sobre SVM se basa en la idea de minimización de riesgo estructural propuesto por Vapnik [7].

Las SVM han mostrado mejor desempeño que las redes neuronales, en algunas aplicaciones [8], lo que ha permitido considerarlas como poderosas herramientas para resolución de problemas de clasificación. Una SVM transforma los datos de entrada por medio de una función kernel, que emplea el producto escalar, a un espacio de características de mayor dimensión, donde es posible encontrar el hiperplano óptimo que separe las clases y maximice el margen  $m$  entre ellas tal como se muestra en la figura 1.

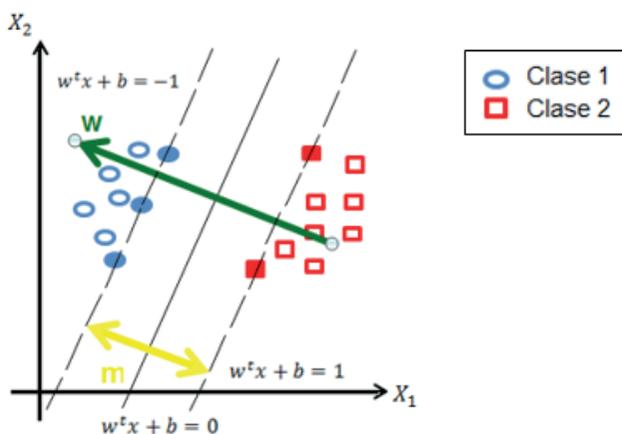


Figura 1. Hiperplano óptimo de separación entre dos clases en el espacio transformado.

Maximizar el margen  $m$  es un problema de programación cuadrática (QP) que puede ser resuelto con multiplicadores de Lagrange en su versión dual. El hiperplano óptimo encontrado se define combinando algunos puntos de entrenamiento seleccionados por el algoritmo, llamados vectores de soporte.

La clasificación automática de la cobertura de uso del suelo es importante y básica en las áreas de los Sensores Remotos (SR) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG's). El éxito en el desarrollo de los sistemas de clasificación, permite mejorar su exactitud temática generando grandes beneficios medioambientales y económicos. La clasificación de coberturas y uso del suelo a partir de imágenes multiespectrales es un problema complejo debido al traslape en el espacio espectral entre las diferentes clases [9].

El objetivo de este estudio consiste en clasificar y cuantificar la cobertura del suelo en la imagen multiespectral LANDSAT 8-OLI empleando el clasificador SVM, y determinar la exactitud de la clasificación brindada por este método. Se evaluará la hipótesis que la utilización de SVM permite obtener un resultado catalogado como bueno.

## Fundamentos

En esta sección se dará una breve introducción teórica a las SVM's, para su empleo en problemas de clasificación.

### Máquinas de Soporte Vectorial (SVM's)

Una Máquina de Soporte Vectorial es un sistema de aprendizaje automático que permite resolver problemas de clasificación y regresión de manera eficiente. La SVM se basa en la Teoría de Aprendizaje Estadístico [10]. Su éxito se debe a que posee las siguientes ventajas: (i) una fundamentación matemática sólida, (ii) estar basadas en el concepto de la minimización del riesgo estructural [11], es decir, minimizar la probabilidad de una clasificación errónea sobre nuevos ejemplos, y (iii) disponer de potentes herramientas y algoritmos para encontrar la solución óptima rápida y eficientemente.

#### 2.1.1 Caso de separabilidad lineal entre dos clases

Para resolver un problema de clasificación, la SVM debe definir una superficie de decisión adecuada con base en el conjunto de datos de entrenamiento. Esa superficie de decisión es un hiperplano que separa los patrones de entrenamiento en dos clases, según se hallen a uno u otro lado de él.

En un problema separable linealmente existen muchos hiperplanos que pueden clasificar los datos como se puede observar en la figura 2.

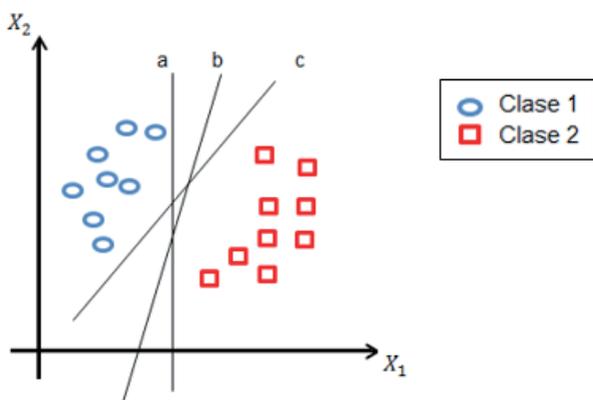


Figura 2. Tres hiperplanos a, b y c que separan las dos clases.

Así, las SVM hallan el único hiperplano que maximiza la distancia (llamada margen) entre él y el dato más cercano de cada clase. Se le llama *hiperplano de separación óptima* y viene dado por:

$$w^t \cdot x + b = 0 \text{ donde } w, x \in \mathbb{R}^n \text{ y } b \in \mathbb{R}$$

Se debe encontrar el vector de pesos  $w$  y el valor de  $b$ , que contiene la ponderación de cada atributo, indicando la cantidad de aporte en el proceso de clasificación y el umbral de decisión, respectivamente [12]. Así, se puede separar el punto  $x_i$  de acuerdo con la función signo del hiperplano. Esto es:

$$f(x_i) = \text{sign}(w^t \cdot x_i + b) = \begin{cases} w^t \cdot x_i + b \geq 1, & y_i = 1 \\ w^t \cdot x_i + b \leq -1, & y_i = -1 \end{cases}$$

donde el signo resultante indicará a cual clase  $Y_i$  pertenece un dato determinado. Esta expresión genera gran economía computacional, debido a que la función no se realiza para todos los puntos de entrenamiento, sino únicamente sobre los vectores de soporte que por lo general es un pequeño porcentaje de  $n$ .

### 2.1.2 Caso de separabilidad no lineal

Al no existir una superficie de decisión lineal apropiada en el espacio de entrada, se transforma el vector de entrada a un espacio de mayor dimensión  $\mathbb{R}^c$  llamado espacio de características  $\mathcal{T}$ , que está dotado de producto escalar. Al elegir el espacio  $\mathcal{T}$  apropiado, se realiza la transformación y se busca el hiperplano de separación óptima de la misma manera del caso anterior y que será lineal en  $\mathbb{R}^n$ , pero es un hiperplano no lineal en el espacio de entrada  $\mathbb{R}^n$ . Al suponer que esta transformación se realiza mediante una función no lineal de la forma:

$\phi(X): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^c, c > n$ , definida por

$$\phi(X) = (\phi_1(X), \phi_2(X), \dots, \phi_c(X))$$

Se observa una dificultad para hallar el hiperplano de separación óptima en  $\mathcal{T}$  debido a que replantea el objetivo de minimización donde los vectores de entrenamiento solo aparecen en la forma de producto escalar, pero definido en el espacio de características. El cálculo de

$$\phi(X_i) \cdot \phi(X_j)$$

es exigente computacionalmente, debido a que  $c > n$ . Este grave inconveniente se soluciona con las funciones kernel.

### 2.1.3 Función kernel

Como no se tiene conocimiento de la función de transformación,  $\phi(X)$  el cálculo de la función de decisión es imposible. Sin embargo, la SVM posee la buena propiedad que no es necesario tener ningún conocimiento acerca de  $\phi(X)$ . Sólo se necesita una función  $K$ , llamada *kernel*, que calcule el producto escalar de los puntos de entrada en el espacio de características [11], es decir:

$$K: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}, \text{ definida por } K(X_i, X_j) = \phi(X_i) \cdot \phi(X_j)$$

Con el empleo de esta función se obtiene el producto escalar en el espacio de características, pero realizando el cálculo en el espacio de entrada cuyo grado de complejidad es menor.

Los tipos de funciones kernel más utilizados son: polinomial-homogéneo, perceptrón, función de base radial y sigmoidal [13].

### Datos y métodos

#### 3.1 Datos

El área de estudio es una finca en Angostura (Antioquía-Colombia) que ocupa 824,9 hectáreas en la cual el Pinus patula ocupa la mayor superficie. La localización de la finca se muestra en la figura 3.

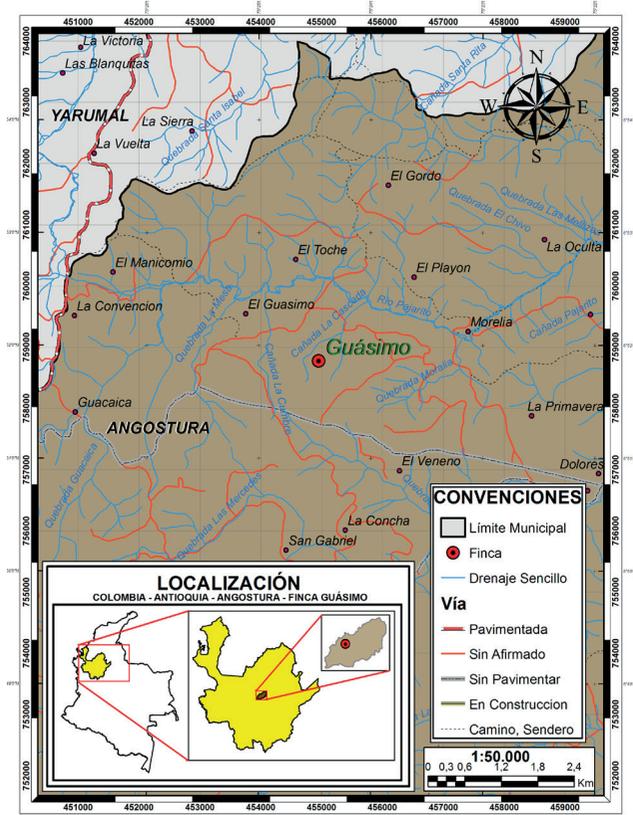


Figura 3. Localización del área de estudio.

En la zona de estudio se identificaron las siguientes clases de cobertura y uso: *Pinus patula* (Pn), suelo descubierto (Sd), nubes (Nb), sombras (Sm), cuerpos de agua (Ag) y vegetación herbácea baja (Vh).

Se empleó una imagen multispectral de Path 9 y Row 55 del satélite LANDSAT 8-OLI con resolución espacial de 30 m por 30 m en los canales 1 a 7 y 9 y 15m por 15 m en el canal pancromático 8 [14], tomada el 26 de noviembre de 2015 [15].

El procesamiento de los datos se realizó utilizando la implementación del clasificador SVM, incluido en el paquete de software estadístico libre R versión 3.3 [16].

### 3.2 Método

Los pasos generales seguidos para hallar la clasificación con SVM, se muestra en la figura 5 y se describe a continuación.

#### 3.2.1 Preparación de la imagen y archivo vector con clases

La imagen del satélite LANDSAT 8-OLI de la zona de estudio tiene 30 m por 30 m de resolución espacial en la toma. Sin embargo, se llevó a cabo

un remuestreo a 15 m por 15 m. Los polígonos de la figura 7 muestran las zonas de entrenamiento para las seis clases definidas.

#### 3.2.2 Cargue de la imagen

Se procedió a especificar el directorio de trabajo en el que se copió la imagen, se cargaron las librerías *foreign*, *kernlab*, *maptools*, *mda*, *raster*, *rgdal*, *sp* y *vcd* y se apilaron las bandas en el objeto imagen y se leyó la capa que contiene las diferentes clases tomadas en el terreno (puntos de entrenamiento).

#### 3.2.3 Cálculo de estadísticas y elaboración de la composición falso color estándar

En este paso, se realizaron las estadísticas unibanda y multibanda de la escena. En la figura 6, se ilustra la matriz de correlación entre las distintas bandas de la escena.

Como era de esperarse se obtuvieron valores altos entre las bandas del visible, debido a que están adyacentes espectralmente.

Se realizó la composición falso color estándar OLI543 (RGB), que se puede apreciar en la figura 4. En rojo aparece la vegetación vigorosa y/o herbácea y *Pinus patula*. En marrón se identifica vegetación arbustiva muy variable en función de la densidad y del tono del sustrato. En blanco las áreas sin vegetación pero de alta reflectividad: nubes y suelos desnudos.

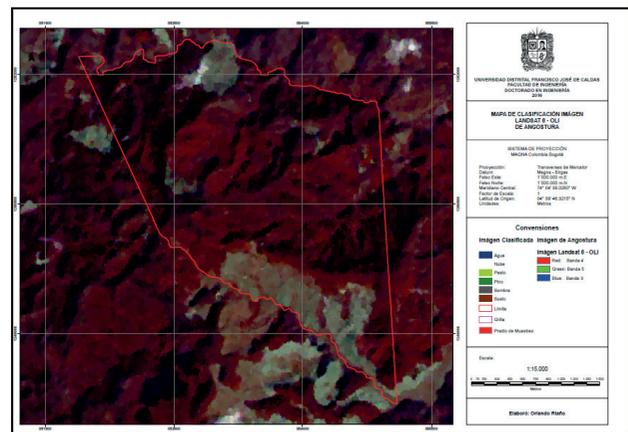


Figura 4. Composición Falso color estándar de la finca.

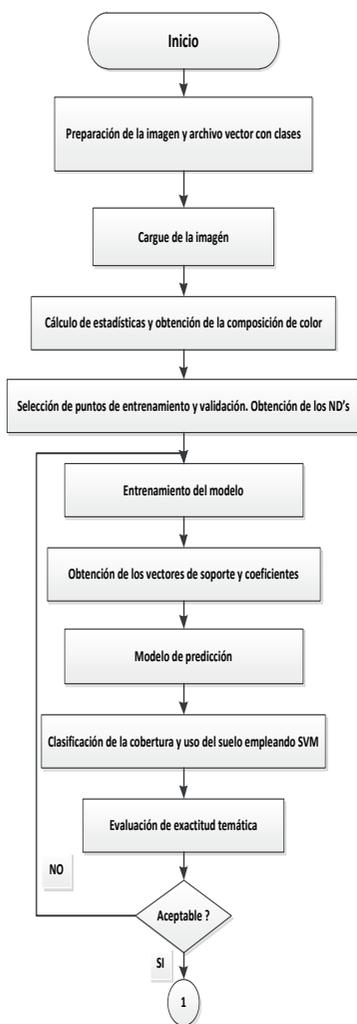


Figura 5. Diagrama de flujo del método SVM.

### 3.2.4 Selección de puntos de entrenamiento y validación. Obtención de los ND's

En las primeras pruebas se emplearon 500 puntos de entrenamiento y 1000 de validación escogidos aleatoriamente y sin semilla, lo que no permitió una buena exactitud temática. Se cambió la muestra a 1000 y 2000 puntos respectivamente, lográndose una pequeña mejoría en los indicadores temáticos. Finalmente se obtuvieron mejores resultados con 1500 puntos de entrenamiento (figura 7) y 3000 puntos de validación (figura 8). Se extrajeron los niveles digitales y los valores de clase de todos y cada uno de los puntos muestra.

### 3.2.5 Entrenamiento del modelo

Para tal fin se empleó el algoritmo ksvm de R, empleando la función kernel de base radial, con valor de 2,5 para sigma y 50 como costo de penalización para que haya un balance entre la maximización del margen y la asignación equivocada de clases.

### 3.2.6 Obtención de los coeficientes $\alpha$ 's y $\beta$

El algoritmo determinó vectores de soporte y 15 valores de  $\alpha \sigma \psi \beta$  para la definición de la función objetivo.

### 3.2.7 Modelo de predicción

Se aplicó la instrucción *predict* de R para usar el modelo SVM para predecir la clase de cobertura y uso de toda la imagen y con el comando *raster* de R se creó una capa con las clases de cobertura obtenidas por el algoritmo SVM.

### 3.2.8 Clasificación de la cobertura por SVM

Se aplica la predicción a la totalidad de la imagen, lo que permite obtener el resultado que se muestra en la figura 9.

	OLI-1	OLI-2	OLI-3	OLI-4	OLI-5	OLI-6
OLI-1	1.000	0.996	0.996	0.898	0.949	0.975
OLI-2	0.996	1.000	0.998	0.922	0.967	0.985
OLI-3	0.996	0.998	1.000	0.911	0.968	0.988
OLI-4	0.898	0.922	0.911	1.000	0.950	0.932
OLI-5	0.949	0.967	0.968	0.950	1.000	0.992
OLI-6	0.975	0.985	0.988	0.932	0.992	1.000

Figura 6. Matriz de correlación de la imagen.

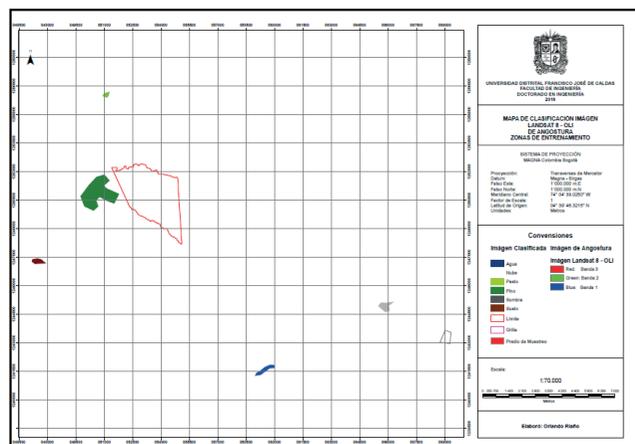


Figura 7. Capa vector con 1500 puntos de entrenamiento.

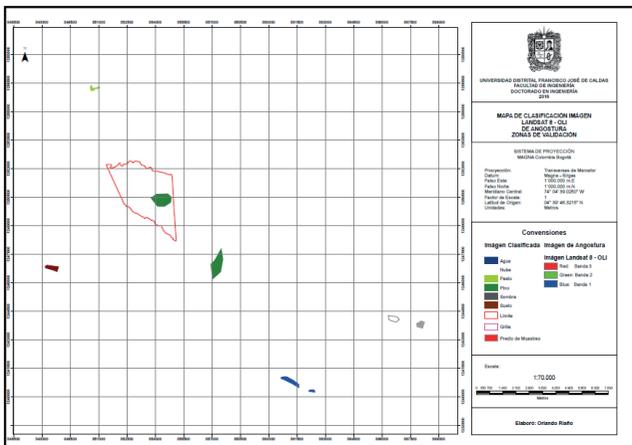


Figura 8. Capa que muestra la distribución de 3000 puntos para validación.

### 3.2.9 Evaluación de exactitud temática

En los casos en que las clases obtenidas no coinciden completamente con la verdad obtenida en el terreno, se pueden cambiar u optimizar los valores para los parámetros de  $C$  y  $\sigma$  en el algoritmo para mejorar la clasificación. De todas formas, se hace necesario realizar una evaluación de la exactitud temática de la clasificación obtenida, que se logra evaluando la matriz de confusión, el porcentaje correctamente clasificado (PCC) y el índice Kappa.

### Resultados

La figura 9 muestra el resultado obtenido de la clasificación con la aplicación del algoritmo SVM. Las clases obtenidas y su superficie dentro de la finca fueron: con *Pinus patula* 704,32 ha (85,38%), suelo desnudo 50,42 ha (6,11%) y vegetación herbácea 70,15 ha (8,51%).

La figura 10 presenta la matriz de confusión que se obtiene para esta clasificación temática del uso y cobertura del suelo de la plantación con el uso de una SVM.

Esta clasificación produjo un porcentaje correctamente clasificado (PCC) del 96,26% y un índice Kappa de 0,94, que satisface el porcentaje de clasificación correcta y que la hace aceptable [13], además de cumplir adecuadamente con el estándar de ser mayor que 0,8 para ser calificada como muy buena [17].

El intervalo de confianza al 95% de PCC va de 95,13% a 98,33%.

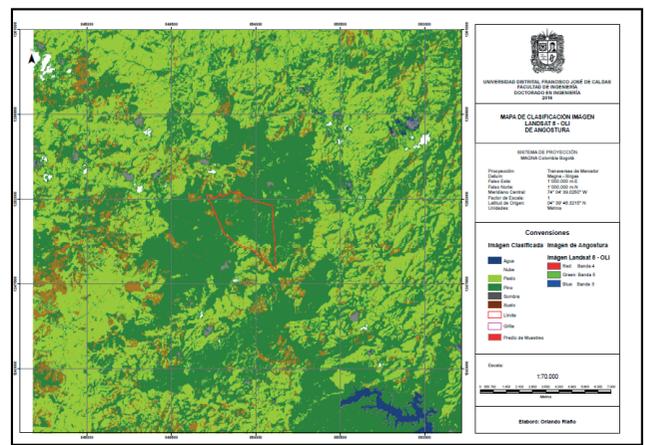


Figura 9. Clasificación con el uso de SVM.

Así, se confirma la hipótesis que el clasificador SVM ofrece un resultado muy bueno.

Clases en el terreno									
Predictorias		Ag	Nb	Vh	Pn	Sm	Sd	Total	
	Ag	389	0	0	0	0	0	0	389
	Nb	0	212	0	0	0	0	0	212
	Vh	0	0	104	3	0	3	110	
	Pn	0	0	26	1826	1	0	1853	
	Sm	0	0	0	12	154	0	166	
	Sd	0	0	62	5	0	203	270	
	Total	389	212	192	1846	155	206	3000	

Figura 10. Matriz de confusión para la clasificación obtenida con SVM.

### Discusión

Debido a que el valor de error para la matriz de confusión y el valor del índice kappa superan en buena medida los estándares mínimos de aceptación, se puede inferir que el empleo del clasificador SVM es suficientemente exacto, una vez se determinen adecuadamente los valores de los parámetros: sigma y costo de penalización, lo mismo que el número de puntos de entrenamiento y validación.

Los análisis realizados anteriormente permiten observar que no sólo se obtiene una frontera de separación entre clases, sino la mejor de todas las posibles (el hiperplano de separación óptimo) con el clasificador SVM.

### 6. Conclusiones

Este trabajo presentó una aplicación del empleo del uso de SVM para la clasificación temática de una imagen multispectral con muy buenos resultados en términos de exactitud temática.

El proceso matemático no sólo permite obtener una buena frontera de separación sino la óptima, en el sentido de maximizar el margen entre clases con SVM.

Una vez obtenido el modelo para SVM, es fácil su implementación y muestra alto desempeño en la clasificación de los datos.

El éxito del algoritmo SVM radica en la buena selección de la función kernel, debido a que los cálculos se realizan en el espacio de entrada con esta función.

El uso de una función kernel no hace necesario el conocimiento explícito de la función  $f(X)$

En cuanto a la clasificación que se llevó a cabo en sí, la solución presentada es muy buena con SVM.

Se pudo observar, durante el desarrollo de la clasificación, que a medida que aumentaban el número de puntos de entrenamiento y validación, el resultado iba mejorando de la misma manera.

SVM fue capaz de discriminar el *Pinus patula*, mientras que en una pequeña proporción se presenta confusión entre vegetación herbácea y sombras con *Pinus patula* por su gran parecido espectral en las bandas del visible.

Las SVM presentan la debilidad de requerir eficientes metodologías para definir los parámetros de inicialización.

## Referencias bibliográficas

- [1] P. M. Mather. *Computer processing of remotely-sensed images: An introduction*, 3rd edition. Chichester. John Wiley and Sons. 2004.
- [2] J.F. Mas, J.J. Flores. "The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data". *International Journal of Remote Sensing*, 29 (3), 617-663. 2008.
- [3] G. Mountrakis, J. Im, C. Ogole. "Support vector machines in remote sensing: A review". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66 (3), 247-259. 2011.
- [4] M. H. Tseng, S. J. Chen, G. H. Hwang and M. Y. Shen. "A genetic algorithm rule-based approach for landcover classification". *ISPRS J. Photogram. Remote Sensing*, 63: 202-212. 2008
- [5] C. Burges, Schölkopf and A. Smola. *Advances in kernel methods: Support vector machines*. Cambridge, MA: MIT Press. 1999.
- [6] L. Breiman. "Random Forest". *Machine Learning*. 45(1), 5-32. 2001.

[7] V. Vapnik. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag, New York. 1995.

[8] C. Burges. "A tutorial on support vector machines for pattern recognition". *Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 2, no. 2. 1998.

[9] I. Lizarazo, S. Mesa, R. Cuitiva. "Clasificación de imágenes usando redes neuronales: Bases matemáticas". *Revista Científica no. 7. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico (CIDC)*, Universidad Distrital. 2005.

[10] V. Vapnik. *Statistical Learning Theory*. Wiley, New York. 1998.

[11] V. Kecman. *Learning and Soft Computing*. MIT Press, London. 2001.

[12] G. Betancourt. "Las máquinas de soporte vectorial". *Scientia et Technica*. Año XI, No. 27: 67-72. 2005.

[13] B. Tso. and P. Mather. *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. Taylor and Francis Corp, London, UK. 2009.

[14] A. Ariza. *Descripción y corrección de datos Landsat 8. LDCM. Versión 1.0*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. 2013.

[15] USGS. "Landsat 8 Product. U.S. Department of the Interior". *U.S. Geological Survey*. 2015.

[16] R version 3.3. *The R Foundation for Statistical Computing*. ISBN 3-900051-07-0. 2016.

[17] R. B. Congalton. "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data". *Remote Sensing of Environmental*, 37: 35-46. 1991.

## De los autores

**Orlando Riaño Melo:** Matemático de la Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Ingeniero de sistemas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia. Especialista en Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos. Convenio IGAC- Universidad Distrital. Colombia. Magister en Geomática de la Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Docente Titular de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [orianom@unal.edu.co](mailto:orianom@unal.edu.co)

**Carlos Daniel Acosta Medina:** Matemático de la Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Magister en Matemáticas de la Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Doctor en Matemáticas de la Universidad Nacional de Colombia. Colombia Postdoctor en Ingeniería Matemática de la Universidad de Concepción. Chile. Docente de la Universidad nacional de Colombia- Sede Manizales. [cacostam@unal.edu.co](mailto:cacostam@unal.edu.co)

**Robert Orlando Leal Pulido:** Ingeniero Forestal de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia. Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [rolealp@udistrital.edu.co](mailto:rolealp@udistrital.edu.co)

# Evaluación del impacto de la generación distribuida sobre el perfil de tensión en redes de distribución

## Assessment of the impact of distributed generation on voltage profile in distribution networks

Gustavo Luna Russi<sup>1</sup>  
Ricardo Alfonso Gómez Suárez<sup>2</sup>  
Edwin Rivas Trujillo<sup>3</sup>

### Resumen

En este artículo, se presentan los resultados de la evaluación del impacto de la generación distribuida en redes de distribución, obtenidos en el perfil de tensión consecuencia del estudio en estado estable.

En primera instancia se presenta el modelo de pruebas IEEE 34 nodos con los ajustes propuestos. Así mismo, se muestra los escenarios de simulación planteados con base en un algoritmo de enfoque analítico, para la ubicación de la generación distribuida.

**Palabras clave:** algoritmo, generación, distribuida, regulación de tensión, perfil de tensión.

### Abstract

The results of the evaluation of the impact of distributed generation in distribution networks, obtained in the voltage profile consequence of the steady-state study presented in this article.

Model of IEEE 34-node test the proposed adjustments is presented in the first instance. Also, the simulation scenarios shown posed an algorithm based on analytical approach to the location of distributed generation.

**Keywords:** algorithm, generation, distributed, voltage regulation, voltage profile.

1 galunar@correo.udistrital.edu.co  
2 rgomezs@ecci.edu.co  
3 edwinrivast@gmail.com

**Introducción**

La generación distribuida (GD) está penetrando de manera acelerada en los sistemas de potencia, lo cual unido al aumento de cargas no lineales originan cambios en el sistema eléctrico, que a su vez exigen mantener una buena confiabilidad y calidad de energía desde el generador hasta el usuario final[1].

Al aumentar los niveles de penetración de la GD en las redes de distribución, no se considera el diseño original de seguridad, control, flujo de potencia y puesta a tierra como un sistema centralizado[2].

Por lo cual surgen problemas técnicos de calidad de la potencia.

Por lo tanto surge una pregunta ¿Cómo medir el impacto técnico de la integración de la generación distribuida sobre las redes de distribución, evaluando problemas de perfil de tensión, utilizando herramientas de código abierto?.

Para evaluar el impacto de la generación distribuida sobre el perfil de tensión sobre redes de distribución, se tomó como caso de estudio el sistema de prueba IEEE 34 nodos.



El sistema IEEE de 34 nodos (Figura 1), es un alimentador real situado en Arizona, con tensión nominal de 24.9 kV[3].

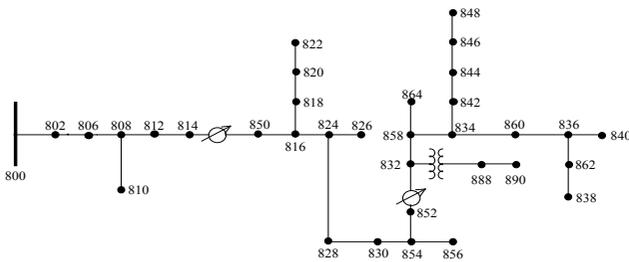


Figura 1. Sistema IEEE de 34 nodos [3].

Al sistema original se adaptaron las curvas de demanda teniendo en cuenta el modelo de carga constante; para potencia, corriente e impedancia se asignaron las curvas industrial, comercial y residencial respectivamente.

**zAlgoritmo de enfoque analítico**

Para evaluar las perturbaciones de calidad de potencia que genera la conexión de GD sobre redes de distribución, es necesario proponer escenarios de ubicación óptima de generación distribuida utilizando como criterios, la reducción de pérdidas

de potencia y el tamaño de generación que aplane la curva de demanda total del sistema modelado. Para ello, se implementa un algoritmo con enfoque analítico que permite plantear distintos casos de estudio que sirvan como punto de comparación entre las distintas variables como lo son, la ubicación, el tamaño y el factor de potencia asociado a la tecnología de generación.

El algoritmo de *Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks* [4] fue implementado en OpenDSS y complementado (Ver Tabla 1) para buscar ubicaciones óptimas de la conexión de GD que reduzcan las pérdidas de potencia, el tamaño de generación que aplane la curva de demanda y la asociación del factor de potencia con las tecnologías de generación distribuida presentadas en [4] en función de su característica de inyección de potencia real y reactiva. A continuación, se describe el procedimiento.

Antes de iniciar se debe ajustar el factor de potencia de la DG para que sea igual al de las cargas totales combinadas, el procedimiento computacional para encontrar el tamaño y la ubicación de la DG es el siguiente:	
<b>Paso 1</b>	Ejecute el flujo de carga para el caso base.
<b>Paso 2</b>	Encuentre las pérdidas de potencia del caso base.
<b>Paso 3</b>	Calcular el factor de potencia de la DG.
<b>Paso 4</b>	Encontrar el tamaño óptimo de la DG para cada nodo.
<b>Paso 5</b>	Colocar el tamaño óptimo de DG obtenido en el paso 4 en cada bus, uno a la vez y calcular la pérdida aproximada para cada caso.
<b>Paso 6</b>	Buscar el bus óptimo en el que las pérdidas totales sea mínima.
<b>Paso 7</b>	En el nodo óptimo, encontrar tamaño que aplane la curva de demanda total del sistema.
<b>Paso 8</b>	Colocar el tamaño óptimo de DG obtenido en el paso 7 en cada nodo, uno a la vez y calcular la pérdida aproximada para cada caso.
<b>Paso 9</b>	Escoger cuatro diferentes nodos óptimos: En ramificación. Baja tensión del transformador. Cercano al alimentador. Lejano al alimentador.

Tabla 1 . Algoritmo analítico: Fuente los autores.

**Paso 1.**

El flujo de carga se ejecuta en OpenDSS configurando el software para realizar el método Newton-Raphson.

**Paso 2**

El cálculo de las pérdidas se puede realizar según [4] y [5], utilizando la formula exacta de perdidas:

$$PL = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij}(Q_i P_j + P_i Q_j)] \quad (1)$$

Donde,

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j)$$

$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j)$$

Donde,  $P_i$  y  $P_r$  son inyección de potencia activa y reactiva neta en el bus  $i$  respectivamente,  $r_{ij}$  es la resistencia de la línea entre el bus  $i$  y  $j$ ,  $V_i$  y  $\delta$  son la tensión y ángulo en el bus, respectivamente.

Según Roger C. Dugan uno de los desarrolladores de OpenDSS para la EPRI, y que brinda soporte en el foro oficial: *OpenDSS calcula las pérdidas totales realizando una suma de las potencias que entran a cada conductor del elemento. Por lo tanto las pérdidas son los sobrantes de la potencia que se consume por el elemento.*

### Paso 3

De acuerdo con la referencia [4] se plantea lo siguiente:

Considerando la posibilidad de un sistema de distribución simple con dos nodos, una fuente, una carga y GD conectados a través de una línea de transmisión. El factor de potencia de la carga única ( $PF_D$ ) está dada por la ecuación (2).

$$PF_D = \frac{P_D}{\sqrt{P_D^2 + Q_D^2}} \quad (2)$$

Donde  $P_D$  y  $Q_D$  es la potencia demandada.

Se puede demostrar que la mínima pérdida se produce cuando el factor de potencia de la DG es igual al factor de potencia de la carga dada por la ecuación (3).

$$PF_D = PF_{DG} = \frac{P_{DG}}{\sqrt{P_{DG}^2 + Q_{DG}^2}} \quad (3)$$

Donde  $P_{DG}$  y  $Q_{DG}$  es la potencia de la generación distribuida.

En la práctica, un sistema de distribución es más complejo e incluye más elementos. Los factores de potencia de las cargas son diferentes. Si cada carga es suministrada por un generador local, en la que el factor de potencia de cada generador es igual a la de cada carga, no habría corriente en las líneas. La pérdida total de energía de la línea sería cero. Las líneas de transmisión también serían innecesarias. Sin embargo, es poco realista ya que el costo de inversión de capital para la GD sería demasiado alto. Por lo tanto, el número de generadores instalados debe ser limitado.

Para encontrar el factor de potencia óptimo de la GD para un sistema complejo de distribución radial, se propone encontrar el factor de potencia de la carga combinada. Por lo tanto, la pérdida total mínima posible se puede lograr si el factor de potencia de la DG se selecciona igual a la de la carga total (4).

$$PF_{DG} = PF_D \quad (4)$$

### Paso 4

La minimización de las pérdidas totales  $PLoss$  con respecto a la potencia de la GD  $PDG$ , se realiza con la expresión (5) para todas las localizaciones y potencias de GD.

$$\frac{\partial P_{Loss}}{\partial PDG_i} = 0 \quad (5)$$

El objetivo del algoritmo es reducir al mínimo la pérdida total de potencia real. Matemáticamente, la función objetivo se puede escribir como:

$$PL = \sum_{k=1}^{Nsc} Loss_k \quad (6)$$

Sujeto a las restricciones de balance de potencia:

$$\sum_{i=1}^N P_{DG_i} = \sum_{i=1}^N P_{D_i} + P_L \quad (7)$$

Donde  $Loss_k$  es la pérdida en la sección  $k$ ,  $Nsc$  es el número total de secciones,  $PL$  es la pérdida de potencia real en el sistema,  $P_{DG_i}$  es la potencia de generación distribuida de energía real en el nodo  $i$  y  $P_{D_i}$  es la demanda de energía en el bus  $i$ .

### Paso 5 y 6

Las pérdidas totales por cada ubicación de GD en cada nodo se realizan de nuevo con la ecuación (1).

### Paso 7

Para aplanar la curva de demanda, es necesario conocer algunas características de la misma tales como, zonas valle, picos y hundimientos; de esta manera se establece un tamaño óptimo de GD en colaboración con la conexión y desconexión del generador en distintos puntos de la curva donde se presentan picos hasta conseguir una curva más constante.

**Paso 8**

En este paso se repite el paso 4 manteniendo la potencia del generador constante buscando los nodos donde la reducción de pérdidas es mayor.

**Paso 9**

Se escogen cuatro diferentes nodos óptimos de acuerdo al sistema IEEE 34 nodos.

- En una ramificación.
- Baja tensión del transformador.
- Cercano al alimentador.
- Lejano al alimentador.

Para cada nodo escogido se prueba 4 factores de potencia de acuerdo con la Tabla 2.

<b>Tipo 1</b>	-Capaz de inyectar P solamente. -Factor de potencia 1. -Fotovoltaicas, microturbinas, pilas de combustible, que se integran a la red principal con la ayuda de convertidores o inversores.
<b>Tipo 2</b>	-Capaz de inyectar Q solamente. -Factor de potencia 0. -Compensadores síncronos tales como las turbinas de gas.
<b>Tipo 3</b>	-Capaz de inyectar P y Q. -Factor de potencia 0<FP<1 en adelanto. -Las unidades de DG que se basan en máquina síncrona (cogeneración, turbinas de gas, etc.).
<b>Tipo 4</b>	-Capaz de inyectar P pero consume Q. -Factor de potencia 0<FP<1 en atraso. -Generadores de inducción que se utilizan en los parques eólicos.

Tabla 2 . Asociación del factor de potencia con las tecnologías de la GD [4].

**Casos de estudio**

Los escenarios de prueba para la planeación de conexión de la GD se realizan con base en un algoritmo de enfoque analítico [4] implementado por los autores; basándose en la reducción de pérdidas totales en el sistema y en la potencia de generación para aplanar la curva de demanda como criterio complementario.

El algoritmo inicia con el flujo de carga total del sistema determinando las pérdidas totales y el factor de potencia.

- Pérdidas totales sin GD= 232,16 kW
- Factor de potencia = 0,98 inductivo

Se ejecutan flujos de carga conectando GD en cada nodo, manteniendo constante el factor de potencia y variando la potencia de generación desde 1 kW hasta 1,6 MW; teniendo como base en la ecuación ( 8 ) se determina el tamaño y el nodo óptimo que minimicen las pérdidas de potencia (Tabla 3).

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial PGD} = 0 \quad (8)$$

Tabla 3 Resultado algoritmo flujo de carga: Fuente los autores.

<b>Nodo óptimo</b>	834
<b>Tamaño</b>	1,45 MW
<b>Pérdidas</b>	49,93kW
<b>Reducción</b>	78,5%

Con el objetivo de aplanar la curva de demanda, se establece el tamaño óptimo, procurando que el promedio de la curva de demanda eléctrica total del sistema durante el día sea de 479 kW; lo cual quitaría el pico de demanda en las últimas horas del día (16h – 22h).

Para ello, se ejecutan flujos de carga diario conectando y desconectando en la hora 8 y 23 respectivamente la GD; variando en el nodo óptimo (834) el tamaño de la GD cada 10% con respecto a la potencia total del sistema 1,6 MW (Figura 2)

- Nodo óptimo= 834
- Tamaño=640 kW

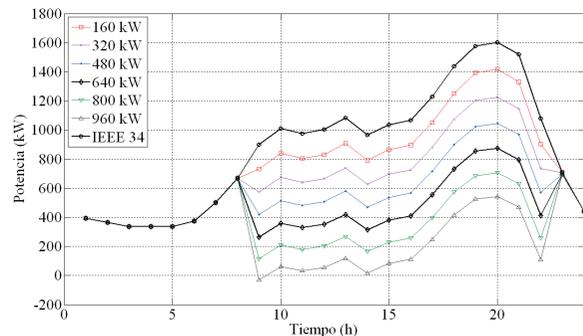


Figura 2 Curvas de demanda total con variación de potencia de GD.

Los escenarios de simulación (Tabla 4) para los estudios propuestos, se plantean partiendo del tamaño ideal que aplanar la curva de demanda; además, se escoge el factor de potencia (1; 0; 0,85; -0,85) asociado a la tecnología de GD de acuerdo a su característica de inyección de potencia real y reactiva [4]. La ubicación de la GD en el sistema se realiza escogiendo 4 nodos óptimos con diferentes características (ramificación, baja tensión del transformador, cercano y lejano al alimentador).

Tabla 4. Casos de estudio: Fuente los autores

FP	Tamaño (kW)	Nodo	Pérdidas con GD (W)	Reducción (%)
1	640	890	106880	53,97
		832	133769	42,39
		848	129095	44,40
		836	129076	44,41
0	640	890	101279	56,38
		832	131847	43,21
		848	128109	44,82
		836	127875	44,92
0,85 (Adelanto)	640	888	163767	29,46
		832	155641	32,96
		848	150258	35,28
		836	151449	34,77
0,85 (Atraso)	640	890	105320	54,64
		832	135372	41,69
		848	134957	41,87
		836	133432	42,53

**Estado estable**

En estado estable se obtiene el perfil de tensión, realizando un flujo de carga diario (24 horas), midiendo en todas las fases y nodos la tensión cada hora, utilizando los 16 casos además del escenario base o sin GD, calculando los índices propuestos en el capítulo cinco, para evaluar regulación de tensión, sobretensiones y subtensiones. Para ello, se utiliza un algoritmo de programación con ayuda de MATLAB, OpenDSS y Excel.

**Perfil de tensión sin GD**

El perfil de tensión sin GD de la Figura 3, se observan tres niveles de tensión de fase bien definidos (39837,16V; 14376,02V y 2401,77V), más sin embargo se aprecian caídas y elevaciones de tensión a diferentes horas del día y en distintos puntos del sistema, debido a que las curvas de demanda eléctrica presentes en el sistema no son constantes y por ende la corriente y las pérdidas en el sistema tampoco lo son.

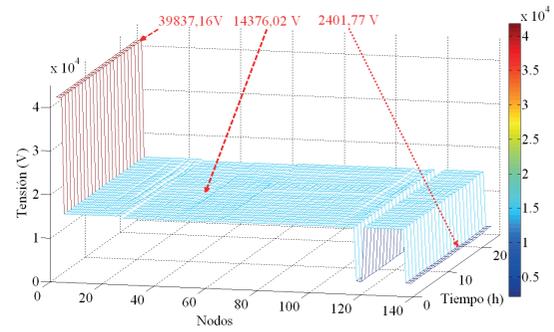


Figura 3. Perfil de tensión sin GD.

En un escenario completamente ideal se esperaría que el perfil de tensión se mantenga constante, más sin embargo dependiendo de la curva de carga las pérdidas aumentarían o disminuirían en el transcurso del día y por lo tanto no se puede mantener un escenario ideal. La conexión de generación distribuida puede mejorar las pérdidas y hacer que la curva de demanda sea más constante, por consiguiente mejorando el perfil de tensión.

**Regulación de tensión**

Con la finalidad de evaluar, la tensión nominal con respecto a los límites de regulación de tensión aceptables se aplica a todos los escenarios propuestos de conexión de GD, el índice de regulación de tensión IREG (9) propuesto por los autores.

$$IREG = \frac{V_{nodo} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (9)$$

En la Tabla 5 se presenta el análisis del comportamiento del perfil de tensión con el índice IREG, el cual se realizó a 3312 datos provenientes de 138 nodos durante 24 horas del día.

Tabla 5. Resumen análisis del perfil de tensión índice IREG: Fuente los autores.

GD nodo	Promedio	Desviación estándar	Max (V)	Nodo	Min (V)	Nodo	Límite Máximo Sobrepasado %	Límite Mínimo sobrepasado %
<b>Sin GD</b>								
	0,867	0,106	1,075	814.2	0,082	890.1	7,427	0
<b>FP 0</b>								
890	0,853	0,145	1,813	890.3	0,512	852.1	14,674	0
832	0,871	0,103	1,139	814.3	0,067	890.1	12,983	0
836	0,86	0,104	1,139	814.3	0,066	890.1	12,983	0
848	0,86	0,104	1,139	814.3	0,065	890.1	12,983	0
<b>FP 1</b>								

890	0,881	0,086	1,334	890.1	0,598	mid822.1	12,077	0
832	0,872	0,102	1,088	814.3	0,066	890.1	11,715	0
836	0,878	0,104	1,088	814.3	0,066	890.1	11,745	0
848	0,875	0,104	1,089	814.3	0,067	890.1	11,745	0
<b>FP 0,85 en atraso</b>								
890	0,875	0,136	1,867	890.1	0,533	852.3	15,187	0
832	0,875	0,104	1,146	814.3	0,533	890.3	13,164	0
836	0,875	0,106	1,146	814.3	0,533	890.3	13,225	0
848	0,875	0,106	1,146	814.3	0,533	890.3	13,225	0
<b>FP 0,85 en adelante</b>								
890	0,875	0,097	1,075	814.2	0,28	890.3	6,129	0
832	0,875	0,101	1,075	814.2	0,075	890.1	7,82	0
836	0,875	0,103	1,075	814.2	0,076	890.1	7,85	0
848	0,875	0,103	1,075	814.2	0,077	890.1	7,911	0

A manera de ejemplo en la ecuación (10) se ilustra el cálculo del índice de regulación en el nodo 824 fase 2 en la hora 2 del perfil de tensión.

- Tensión sin GD= 14680,05 V
- Tensión nominal de fase = 14376,02 V
- $V_{max}$  (+5% de la tensión nominal) = 15094,80 V
- $V_{min}$  (-10% de la tensión nominal) = 14680,05 V
- $V_{nodo} = 14680,05 V$

$$IREG = \frac{14680,05 V - 12938,40 V}{15094,80 V - 12938,40 V} = 0,807 \text{ p.u.} \quad (10)$$

El resultado obtenido de 0,807 en p.u. en la ecuación (10), se encuentra en el rango entre 0 y 1 y por lo tanto no alcanza o sobrepasa ninguno de los límites permisibles.

### Índice de regulación IREG sin GD

En las Figura 4 se muestra de manera general el perfil en todos los nodos del sistema al aplicar el índice IREG sin GD.

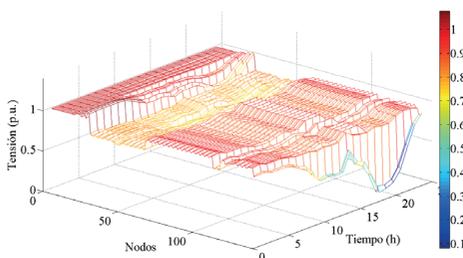


Figura 4. Perfil de tensión sin GD índice IREG.

En la Tabla 5 se muestra que sin GD, que solo en el 7,42% de las veces se sobrepasa el límite máximo aceptable y su valor llega a 1,075. Asimismo, los nodos que han superado la máxima tensión permisible son los cercanos al nodo infinito durante las primeras horas del día, incluso el nodo fuente supera el límite durante el mayor tiempo del día (18 horas). Cabe añadir que los valores más cercanos a 0 se registran en el nodo 890 que corresponde al nivel de 2401,77V.

### Índice de regulación IREG con GD

En la Tabla 5 se muestra que el caso con el mejor promedio 0,853 p.u. en comparación con el escenario sin GD se encuentra conectando GD en el nodo 890 con un factor de potencia 0; sin embargo se supera el límite aceptable 1,81 p.u. y superando el límite máximo aceptable 14,67% volviéndolo un caso crítico.

El mayor incremento en la tensión (1,86 p.u) ocurre en el nodo 890 fase 1 cuando se conecta el generador en el mismo nodo 890 con factor de potencia 0,85 en atraso; es decir, la tensión de fase alcanza 2834,10 V cuando la tensión nominal es de 2401,77 V. En la Figura 6-7 se muestra el perfil de tensión en el nodo 890 en la fase 1.

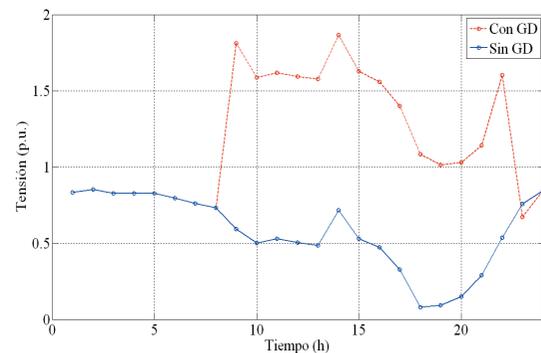


Figura 5 . Perfil nodo 890.1, GD en 890 FP=0.85 atraso. Caso crítico.

La mejor opción se presenta al conectar GD en el nodo 890 con factor de potencia en adelante, debido a que se mantiene el sobrepaso del límite superior aceptable del escenario sin GD 1,075 p.u. y su ocurrencia baja del 7,42% el 6,12%, además se alejó del límite inferior que paso de 0,08 p.u. a 0,28 p.u. Dicho de otra manera, fue el caso donde menos se afectó el perfil de tensión.

El caso óptimo, se presenta cuando se conecta el generador con factor de potencia 0,85 en adelante en el nodo 890.

Lo ideal, sería un perfil de tensión en donde todos los nodos del sistema tuvieran como tensión real la misma tensión nominal; de acuerdo con el índice IREG la tensión nominal del sistema es 0,666 p.u. con un promedio en los datos de 0,666 p.u. y una desviación estándar cero.

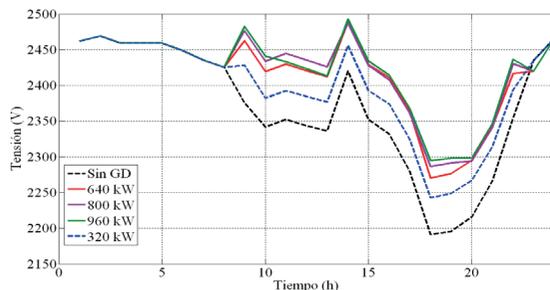


Figura 6 . Perfil de tensión en el nodo 890 con FP=0,85 adelante con diferentes potencias de GD.

La GD cambia el flujo de potencia, e interfiere con el control de regulación de tensión; por lo tanto la carga en cada nodo debe mantenerse uniforme evitando ocasionar cambios del diseño original sin GD producido por flujos inversos [6] . En efecto, el nivel de penetración de la GD y el factor de potencia asociado impacta directamente el perfil de tensión, como consecuencia de la modificación el flujo de potencia Figura 6 . Es decir, el buen desempeño al conectar GD con factor de potencia 0,85 en adelante se debe a las características de compensación de pérdidas del generador y las características de carga propias del sistema.

En resumen, en la instalación de DG debe contemplarse su característica como compensador para aprovechar los efectos positivos en el sistema de distribución, permitiendo la compensación reactiva para el control de tensión.

## Conclusiones

Con la aplicación del algoritmo analítico implementado, el cual permite definir la ubicación óptima de la GD basado en las pérdidas y la curva de demanda diaria en el sistema IEEE 34 nodos, se puede inferir que al utilizar el tamaño óptimo de potencia que minimiza las pérdidas en el flujo de carga diario, se generan flujos de potencia inversos; por lo tanto con el fin de aplanar la curva de demanda es necesario disminuir el tamaño de potencia en la GD.

La GD cambia el flujo de potencia del sistema, ocasionando perturbaciones en el perfil de tensión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Por flujos inversos, como por ejemplo, sobretensiones y variaciones en la regulación de tensión; la no alteración del perfil de tensión, se logra conectando una potencia de generación que cumpla con las características de compensación de pérdidas y no modifique las características de carga del sistema de prueba.

## Referencias

- [1] J. Haan and P. Nguyen, "Social interaction interface for performance analysis of smart grids," *Smart Grid Model. Simul. (SGMS)*, IEEE First Int. Work., pp. 79–83, 2011.
- [2] R. Passey, T. Spooner, I. MacGill, M. Watt, and K. Syngellakis, "The potential impacts of grid-connected distributed generation and how to address them: A review of technical and non-technical factors," *Energy Policy*, vol. 39, no. 10, pp. 6280–6290, Oct. 2011.
- [3] W. H. Kersting, "Radial distribution test feeders," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 975–985, 1991.
- [4] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, and R. C. Bansal, "Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks," *Energy Conversion, IEEE Trans.*, vol. 25, no. 3, pp. 814–820, 2010.
- [5] K. Bhumkittipich and W. Phuangpornpitak, "Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation for Power Loss Reduction Using Particle Swarm Optimization," *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 307–317, Jan. 2013.
- [6] C. L. T. Borges and D. M. Falcão, "Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 28, no. 6, pp. 413–420, Jul. 2006.

## De los autores

**Ricardo Alfonso Gómez Suárez:** Ingeniero Electrónico, Master en Teleinformática. Docente de Tiempo Completo y Líder del Área de Telemática, Universidad ECCI. Facultad de Ingeniería. Docente Hora Cátedra, Universidad Distrital, Facultad de Ingeniería. rgomez@ecc.edu.co, ragomez@udistrital.edu.co

**Edwin Rivas Trujillo:** Ingeniero Electricista, Magister en Sistemas de Generación Energía Eléctrica, Master y Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática. Director del Grupo de Compatibilidad e Interferencia Electromagnética de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

# Guía de pruebas y protocolos para el lanzamiento del satélite Colombia I

## Guide to test and protocols for the launch of the satellite Colombia I

Tipo de artículo: Artículo Reflexión

Heber Fabián Rodríguez Romero<sup>1</sup>  
Lilia Edith Aparicio Pico<sup>2</sup>



### Resumen

El presente artículo contiene un análisis de las normas internacionales que hay que cumplir para preparar un pequeño satélite o Cubesat para su lanzamiento, estas normas se verifican con pruebas de vacío, de vibración, termobáricas, pruebas mecánicas, pruebas de choque, electromagnéticas, etc. Para el análisis se trabaja con el estándar internacional “GSFC-STD-7000A”[1] y la norma de Cubesat[2] los cuales corresponden a los documentos principales. Se toman en cuenta las sugerencias sobre una estructura ideal para desarrollar este tipo de satélites, finalmente se citan algunos autores sobre trabajos exitosos mostrando las sugerencias y bases de lo que se debe tener en cuenta para la preparación del satélite para su lanzamiento.

**Palabras clave:** Cubesat, pruebas electromagnéticas, pruebas termobáricas, pruebas de vacío, pruebas vibroacústicas.

### Abstract

This article contains an analysis of the international norms that are fulfilled to prepare a small satellite or Cubesat for its launch, these norms are verified with tests of vacuum, of vibration, thermobaric, mechanical tests, tests of shock, electromagnetic, etc. For the analysis we work with the international standard “GSFC-STD-7000A” [1] and the Cubesat standard [2] which correspond to the main documents. We take into account the suggestions on an ideal structure to develop this type of satellites, we finally quote some authors on successful works showing the suggestions and bases of what should be taken into account for the preparation of satellite for launch.

**Key words:** Cubesat, electromagnetic tests, thermobaric tests, vacuum tests, vibroacoustic tests.

<sup>1</sup> hfrodriguezr@correo.udistrital.edu.co

<sup>2</sup> medicina@udistrital.edu.co

## Introducción

El proyecto CubeSat[2] fue estandarizado en 1999 con el propósito de crear un estándar para el diseño de pico-satélites y reducir el costo y tiempo de desarrollo, incrementar la accesibilidad al espacio y mantener lanzamientos frecuentes. Un CubeSat es un cubo de 10 cm con una masa de hasta 1.33 Kg. Existen pruebas que deben hacerse a un picosatelite para cumplir con todos los requisitos del proveedor de lanzamiento. Si el entorno del vehículo de lanzamiento es desconocido, los estándares estipulados en el documento GSFC-STD-7000[1] se utilizarán para derivar los requisitos de pruebas, sin embargo los niveles de las pruebas definidos en GSFC-STD-7000A[1] podrán ser sustituidos por los requerimientos del proveedor de lanzamiento.

## Pruebas según estándar GSFC-STD-7000A

Este estándar se limita a la verificación de aspectos las cargas útiles STS o ELV, tales como mano de obra y las pruebas funcionales, y proporciona los requisitos y lineamientos para los programas de verificación ambiental de las cargas útiles, subsistemas y componentes describiendo métodos para la aplicación de esos requisitos. Contiene una base de referencia para la demostración de las pruebas del hardware en los entornos de misión esperados [1]. Los requisitos específicos que debe cumplir la carga útil son de conformidad con el vehículo de lanzamiento que se utilizará.

## Documentos aplicables

Los documentos son una guía y no son de obligatoria aplicabilidad, como mínimo debe tenerse en cuenta los siguientes:

- a. NASA-STD 7002A, Requisitos de prueba de carga útil[3].
- b. NASA-STD-7001A, Criterios de Prueba Vibroacústica de Carga Útil[4].
- c. NASA-STD-7003A, Criterios de prueba de choque pirotécnico[5].
- d. NASA-HDBK-7005, Criterios Ambientales Dinámicos[6].
- d. NASA-STD-5001B, Diseño estructural y factores de prueba de seguridad para el hardware de vuelo espacial[7].

- e. NASA-STD-5002, Análisis de carga de naves espaciales y cargas útiles[8].
- f. NASA-STD-5009, Requisitos de evaluación no destructivos para fractura crítica en componentes metálicos[9].
- g. NASA-STD-5019, Requisitos de control de fractura para el equipo de vuelo espacial[10].
- h. MIL-HDBK-6870, Requisitos del programa de inspección, ensayos no destructivos para aeronaves y materiales y piezas de misiles[11].

**Elementos y criterios fundamentales en las pruebas:** Es importante mantener un suministro de repuestos en caso de falla, los cuales deben ser sometidos a las mismas pruebas del hardware principal.

En ausencia de una norma de prueba de tolerancias, se utilizan algunos de los datos de la tabla 1.

Tabla 1 Valores estándar de tolerancias. Tomado de "Tolerancias de la condición de prueba"[1].

Acústicas	Octava banda de tolerancia:	Frecuencia(Hz) $f \leq 40$ $40 < f < 3150$ $f \geq 3150$	Tolerancia(dB) $+3, -6$ $\pm 3$ $+3, -6$
Compatibilidad Electromagnética	Magnitud de voltaje: Magnitud de corriente: Amplitudes RF: Frecuencia:	$\pm 5\%$ del valor pico $\pm 5\%$ del valor pico $\pm 2\text{dB}$ $\pm 2\%$	
<b>Humedad</b>		$\pm 5\%$ RH	
Choques mecánicos	Espectro de respuesta: Simulado Criba vibradora:	Frecuencia(Hz) $F_r \leq 3\text{KHz}$ $F_r > 3\text{KHz}$	Tolerancia(dB) $\pm 6$ $+9/-6$
Vibración	Sinusoidal: Aleatoria:	Amplitud Frecuencia Densidad espectral de aceleración	$\pm 10\%$ $\pm 2\%$ $\pm 3\text{ dB}$

## Verificación del programa espacial

Debe incluir el plan de verificación general de sistema, la implementación y los resultados que se requieren para dar trazabilidad a los requisitos de la misión incluyendo la norma ambiental GEVS[1].

**Verificación ambiental:** Se enmarca en las pruebas de Función eléctrica y Rendimiento, Funciones estructurales y mecánicas, Compatibilidad Electromagnética EMC, Funciones térmicas, etc.[1] y se recomienda que estén dispuestas de forma que permitan hacer una evaluación idónea de todos los componentes. Las pruebas se establecen asumiendo un programa de bajo riesgo. Adicionalmente la calificación del hardware por similitud[1] permite que el hardware que haya sido aprobado y usado en otro programa sea considerado como calificado.

**Verificación técnica del programa espacial**

Las pruebas de verificación estructural y mecánicas pueden o no ser necesarias para una misión específica y deben garantizar que el hardware está preparado para los entornos de misión esperados y no experimentará fallo o deformación permanente, lo que implica que deben ser lo suficientemente estrictas para detectar fallas.

Los análisis estructurales puede ser sobre uniones estructurales, piezas soldadas y requerimientos del control de fracturas (NASA-STD-5019)[10]. Si es necesario ampliar la información sobre el control de fracturas podrán ser consultados los documentos NASA-STD-5003[12] y MSFC-SPEC-3029A[13] en los cuales es posible encontrar todo lo referente a materiales.

Las pruebas de vibración se asegurarán de que el hardware no se dañará bajo las peores condiciones ambientales esperadas durante el lanzamiento[14].

Los componentes de hardware delicados como los ópticos, los sensores, detectores y demás, deben tener unas pruebas limitadas teniendo cuidado de no destruirlos. Si se requiere información adicional se puede consultar “NASA-HDBK-7004C”[15], entre ellos los niveles de vibración aleatoria[16], niveles de pruebas de vibración para las pruebas ambientales[17] y la estructura y los subsistemas que contiene[18] , etc.

Si bien el objetivo del presente artículo no es la obtención de resultados de las diferentes pruebas, si podemos obtener algunos datos de pruebas de vibración aleatoria referentes la densidad espectral de aceleración (ASD) teniendo como partida los datos de la figura 1, la cual nos brinda la información necesaria para la obtención de datos de componentes con un peso inferior a 22,7 Kg.

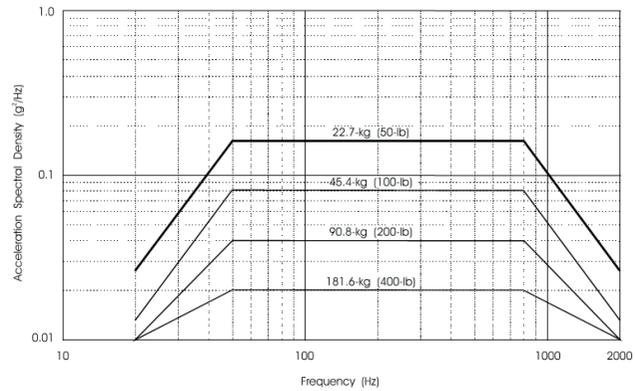


Figura 1 Grafica ASD Vs. Frecuencia para ELVs. Tomada de Tabla 2.4-3[1].

A modo de ejemplo halláremos el valor Grms, el cual es la medida del valor cuadrático medio de una vibración pseudoaleatoria de amplio espectro.

Primero se determina el número de octavos entre las frecuencias inferior y superior con la ecuación 1:

$$Octavos = \frac{\log\left(\frac{F_H}{F_L}\right)}{\log(2)} \tag{1}$$

Donde FH es la frecuencia mayor y FL es la frecuencia menor en el rango analizado. En el segundo paso se determinan los decibeles (dB) al multiplicar el número de octavos por el incremento o decremento[18] como se muestra en la ecuación 2:

$$dB = 10 * \log\left(\frac{ASD_H}{ASD_L}\right) \tag{2}$$

Donde ASDH y ASDL son los valores de densidad espectral de aceleración para la frecuencia mayor y la frecuencia menor respectivamente. Tercero, haciendo uso de las ecuaciones 1 y 2, se determina la pendiente del segmento de la gráfica entre las frecuencias FH y FL al dividir el número de decibeles entre el número de octavos[18]. Ver ecuación 3:

$$m = \frac{dB}{Octavos} \tag{3}$$

Una vez obtenida la pendiente m se usa la ecuación 4 para calcular el área bajo la curva entre los segmentos de frecuencia determinados[18] .



$$A = 10 * \log \frac{(2) * ASD_H}{10 * \log(2) + m} * \left[ F_H - (F_L) * \left( \frac{F_L}{F_H} \right)^{\frac{m}{10 * \log(2)}} \right] \quad (4)$$

Cuando,

$$m \neq -10 * \log(2) \quad (5)$$

En caso contrario se usa la ecuación 6.

$$A = (ASD_L) * (F_L) * \left( \ln \left( \frac{F_H}{F_L} \right) \right) \quad (6)$$

Por último para conocer el valor rms de la curva de ASD, se debe sacar la raíz cuadrada de las áreas debajo de cada segmento definido entre dos frecuencias de la curva[18] como la ecuación 7.

$$Grms = \sqrt{\sum A_i} \quad (7)$$

Finalmente el resultado de usar las anteriores ecuaciones con los datos aplicables al Colombia I mostrados en la figura 1 obtenemos un Grms de 13,1922.

Las pruebas de vibración con barrido sinusoidal se aplica al hardware que este expuesto a entornos de vibraciones sinusoidales transitorias o sostenidas cuyo rango típico de frecuencias para las pruebas sinusoidales es de 5 Hz a 50 Hz.

Las pruebas de choque mecánico se aplican a choques inducidos y autoinducidos.

### Compatibilidad electromagnética

Establece los requisitos correspondientes al control de las características de la interferencia electromagnética y la susceptibilidad de los equipos y subsistemas eléctricos, electrónicos y electromagnéticos usados. La carga útil y sus subsistemas no deben generar ni ser susceptibles a interferencias electromagnéticas que afecten sus propios subsistemas y componentes, otras cargas útiles, la seguridad y funcionamiento del vehículo y lugar de lanzamiento independientemente si son autogeneradas, externas. Estas pruebas de interferencia electromagnética EMI pueden ser

basadas en los requisitos y métodos de ensayo del documento MIL-STD-461F[19] las cuales están diseñadas para encontrar defectos en el diseño, y fabricación y deben adaptarse a los requisitos de la misión.

Los requisitos de EMI se dividen en Emisiones conducidas (CE), Susceptibilidad conducida (CS), emisiones radiadas (RE), receptores de radiofrecuencia (RF) y la Susceptibilidad radiada (RS). Algunos detalles sobre estos son las Emisiones realizadas, modo común, energía y líneas de señal:[1] que se ocupa de la diafonía a frecuencias de hasta 200 MHz. Si los umbrales de sensibilidad de los cables de los componentes más sensibles no se conocen en el momento de la prueba, el límite predeterminado se muestra en la figura 2.

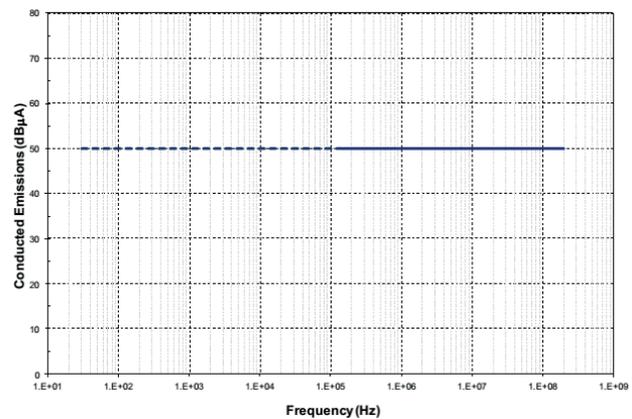


Figura 2 Límite Predeterminado de las Emisiones Conducidas en Modo Común. Tomada de "figura 2.5-5"[1].

*Suceptividad conducida, cables de alimentación, 30 Hz a 150 kHz:[1]* El documento MIL-STD-461F[19] CS101 define un margen con respecto a las características de generación de energía definidos en la norma MIL-STD-704[20] los cuales se basan en fuentes de energía electromecánicas pero que no aplica al desarrollo del Colombia I.

Suceptividad conducida, transientes, cables de potencia:[1] Se prefiere el uso del pulso de 10 microsegundos especificado por el requisito CS06 de MIL-STD-461C[21] porque es más estricto que el pulso CS106[21], y el generador de transitorios CS06[21] es una pieza estándar en cualquier laboratorio de pruebas EMI.

### Requerimientos de vacío, térmicos y humedad

Se hacen pruebas y análisis para demostrar que la carga útil cumple con el desempeño satisfactorio dentro de los límites de vacío y térmicos; que

permitan al hardware estar dentro de los límites establecidos de temperatura y/o humedad para lo cual se recomienda hacerlas después de las pruebas mecánicas.

Las principales características del entorno espacial son las altas y bajas temperaturas que se encuentran en el lado eclipsado de la órbita combinado con el vacío[22]. Por ello se deberá garantizar que la carga útil operará satisfactoriamente, para ello es posible usar modelos de verificación para predecir temperaturas para la fase de lanzamiento y para operaciones de misión[23].

Todo el hardware de vuelo deberá ser sometido a pruebas de vacío térmico, los ensayos deberán demostrar que funciona satisfactoriamente en el rango de posibles tensiones de vuelo incluyendo lanzamiento, separación, modos de seguridad y descomposición[24] etc. Además, el encendido en calor y frío se demostrará donde corresponda [11], [25].

### Normas o protocolos

Las normas que aplican a los sistemas satelitales a nivel mundial están basadas principalmente en el documento “tratados y principios de las naciones unidas sobre el espacio ultraterrestre”[26], el cual especifica los principios que rigen la exploración espacial de los estados y las obligaciones de los mismos para cumplir con dichos principios y tratados. Colombia se acogió a las proclamadas por naciones unidas en cinco principales tratados, acuerdos o convenios suscritos desde 1966. Estos documentos son los siguientes:

1. Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes (1966, 1967) [26]. Conocido como “Tratado sobre el espacio ultraterrestre”. Rige los principios de las actividades de los Estados en la exploración del espacio ultraterrestre, incluida la Luna y otros cuerpos celestes.
2. Acuerdo sobre el salvamento y la devolución de astronautas y la restitución de objetos lanzados al espacio ultraterrestre (1967, 1968)[26].

Conocido como el “Acuerdo sobre salvamento”. Garantiza la devolución de material espacial o equipos hallados en territorio ajeno a la autoridad de lanzamiento y el auxilio a tripulantes de naves espaciales en caso de aterrizaje de emergencia o accidente.

3. Convenio sobre la responsabilidad internacional por daños causados por objetos espaciales (1971,1972)[26]. Conocido como “Convención sobre responsabilidad”. Establece responsabilidad del Estado que lance un objeto al espacio, por los daños causados.

4. Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre (1974,1976)[26] .

Conocido como “Convenio sobre el registro”. A través del citado registro todos los Estados que lanzan objetos al espacio deben proporcionar a la Organización información sobre la identidad del objeto.

5. Acuerdo que debe regir las actividades de los Estados en la Luna y otros cuerpos celestes (1979, 1984)[26] . Conocido como el “Acuerdo sobre la Luna”. Establece que la Luna será utilizada exclusivamente con fines pacíficos y prohíbe utilizarla para actos hostiles.

### Referencias

- [1] NASA, “General Environmental Verification Standard (GEVS),” *ed. Greenbelt, Maryl. NASA*, p. 203, 2013.
- [2] CalPoly, “Cubesat Design Specification (CDS),” p. 42, 2014.
- [3] NASA, “Payload Test Requirements,” *NASA Tech. Stand. Syst.*, pp. 11–18, 2004.
- [4] NASA, “Payload Vibroacoustic Test Criteria,” *NASA Tech. Stand. Syst.*, pp. 8–39, 2011.
- [5] NASA, “Pyroshock Test Criteria,” *NASA Tech. Stand. Syst.*, pp. 12–20, 2011.
- [6] H. Himelblau, J. Manning, D. Kern, and A. Piersol, “Dynamic Environmental Criteria,” *NASA Tech. Handb.*, vol. HDBK-7005, p. 249, 2001.
- [7] NASA, “Structural Design Requirements And Factors Of Safety For Spaceflight Hardware,” *NASA Tech. Stand. Syst.*, no. October, pp. 6–34, 2016.
- [8] NASA, “Load Analyses of Spacecraft and Payloads,” *NASA Tech. Stand. Syst.*, vol. NASA-STD-5, p. 20, 1996.
- [9] NASA, “Nondestructive Evaluation Requirements For Fracture Critical Metallic Components,” *NASA Tech. Stand. Syst.*, no. I, p. 28, 2008.
- [10] NASA, “Fracture Control Requirements For Spaceflight Hardware,” *NASA Tech. Stand. Syst.*, p. 119, 2016.
- [11] Department Of Defense E.E.U.U., “Inspection Program Requirements Nondestructive For Aircraft And Missile Materials And Parts,” vol. MIL-HDBK-6, no. August, pp. 1–14, 2001.
- [12] NASA, “Fracture Control Requirements For Payloads Using The Space Shuttle,” *NASA Tech. Stand. Syst.*, 1996.

[13] NASA, "Guidelines For The Selection Of Metallic Materials For Stress Corrosion Cracking Resistance In Sodium Chloride Environments," *NASA Tech. Stand. Syst.*, no. February, 2005.

[14] CubeSat, "DNEPR Safety Compliance Requirements," no. August 2004, pp. 2–4, 2004.

[15] NASA, "Force Limited Vibration Testing," *NASA Tech. Stand. Syst.*, pp. 11–63, 2012.

[16] Delserro Engineering Solutions Blog, "Random Vibration Testing," *Delserro Engineering Solutions*, 2014. [Online]. Available: <http://www.desolutions.com/blog/2014/02/random-vibration-testing/>.

[17] M. L. Brummitt, "Development Of Cubesat Vibration Testing Capabilities For The Naval Postgraduate School & Cal Poly San Luis Obispo," no. December, p. 28, 2010.

[18] R. A. Gallegos, "Diseño E Ingeniería Asociada A La Estructura De Un Picosatélite," 2009.

[19] Department Of Defense E.E.U.U., "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment," no. December, pp. 8–23, 2007.

[20] A. Burdette, M. Goodnow, and C. Singer, "Electric Power, Aircraft, Characteristics and Utilization Of MIL-STD-704," 1959.

[21] Department Of Defense E.E.U.U., "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Emissions and Susceptibility: MIL-STD-461C," 1986.

[22] M. F. Diaz-Aguado, J. Greenbaum, W. T. Fowler, and E. G. Lightsey, "Small Satellite Thermal Design, Test, And Analysis," *Proc. SPIE 6221, Model. Simulation, Verif. Space-based Syst. III*, vol. 0, p. 12, 2006.

[23] NASA, "Guidelines for Thermal Analysis of Spacecraft Hardware," *NASA, Des. Guidel.*, pp. 1–7, 2003.

[24] J. Richmond, "Adaptive Thermal Modeling Architecture For Small Satellite," 2010.

[25] K. Hogstrom, "State-of-the-Art Thermal Analysis Methods and Validation for Small Spacecraft," *Caltech, Calif. Inst. Technol.*, p. 13, 2013.

[26] Naciones Unidas, *Tratados Y Principios de Las Naciones Unidas Sobre El Espacio Ultraterrestre*. Nueva York, 2002.

# Las infraestructuras de datos espaciales como apoyo al desarrollo de la ciudad inteligente

## Space Data Infrastructures as a Support for the Development of Intelligent City

Sandra Yanet Velazco<sup>1</sup>  
Alexandra Abuchar Porras<sup>2</sup>  
Gabriel Andres Alzate<sup>3</sup>



### Resumen

En estos nuevos tiempos, las Tecnologías de la Información y la Comunicación - TIC, han venido cambiando la forma en que se estudian, se analizan y visualizan las grandes urbes.

Este tipo tecnologías en conjunto con otras dispuestas para la gestión de la información geoespacial, como es el caso de las Infraestructuras de Datos Espaciales – IDE, han impulsado el uso y reuso de datos que se convierten en información más dinámica, de calidad y en tiempo real para una oportuna toma de decisiones y apropiada gestión.

Estos datos son provistos por las ciudades a modo información que sirven para conocer y evidenciar la realidad de estas ciudades, como centros de desarrollo hacia las ciudades del futuro o ciudades inteligentes.

**Palabras clave:** IDE, Ciudad inteligente, sostenibilidad, sensores.

### Abstract

In these new times, Information and Communication Technologies (ICT) have been changing the way the large cities are studied, analyzed and visualized.

This type of technologies, along with others available for the management of geospatial information, such as the Spatial Data Infrastructures (IDE), have led to the use and reuse of data that become more dynamic, quality and timely information For timely decision-making and appropriate management.

These data are provided by cities as information that serves to know and evidence the reality of these cities, as centers of development towards cities of the future or smart cities.

**Keywords:** SDI, Smart city, sustainability, sensors.

1 sandra\_velazcof@yahoo.com  
2 abucharalexandra2@gmail.com  
3 gabriel.andres.alzate@gmail.com

## Introducción

En los últimos años, gracias a las Tecnologías de la Información y la Comunicación - TIC, la forma en que se estudian, se analizan y visualizan las urbes ha cambiado. Estas tecnologías junto con otras tecnologías que gestionan la información geoespacial, como es el caso de las Infraestructuras de Datos Espaciales – IDE, han fomentado y facilitado el uso de datos que se convierten en información más dinámica, reutilizable, de calidad y en lo posible de tiempo real, información provista por las ciudades y que facilitan el conocer y evidenciar los diferentes contextos y realidades de estas urbes, como instrumento de sus desarrollo hacia una ciudad de futuro o ciudad inteligente.

Una ciudad inteligente encuentra en estas tecnologías una herramienta para incrementar su funcionamiento y gestión en diferentes ámbitos, mostrándose como una ciudad más eficiente, competitiva y sustentable.

Sin duda, en conjunto tanto las TIC como las IDE se muestran como instrumentos que permiten percibir la naturaleza propia de las dinámicas urbanas y facilitan el abordar con más y mejores herramientas, sus capacidades como ciudad para una acertada toma de decisiones.

Estas capacidades junto con una acertada planeación, propician un óptimo desarrollo urbano a satisfacción de las necesidades primarias de sus ocupantes, generando ciudades con visión futura de organización, sostenibilidad y aprovechamiento de sus recursos. En este sentido el presente trabajo relaciona una serie de conceptos de ciudad inteligente con el uso de las tecnologías de gestión geoespacial, en especial las Infraestructuras de Datos Espaciales y los usos que se le ha dado al interior de estas.

## La ciudad inteligente

Aunque hay una abundante literatura sobre el tema, no existe una definición definitiva de Ciudad Inteligente o Smart City. No obstante, la definición generalizada de las ciudades inteligentes se refiere al uso de la tecnología, especialmente la tecnología de la información y las comunicaciones (TIC) y la computación inteligente, en la conformación de la habitabilidad y la sostenibilidad de las ciudades [1].

Así, una Smart City se puede ver como una innovación y transformación urbana que tiene como objetivo aprovechar las infraestructuras físicas, Tecnologías de Información y Comunicación, los

recursos de conocimiento, e infraestructuras sociales para la regeneración económica, la cohesión social, una mejor administración de la ciudad, y la gestión de la infraestructura [2].

Una ciudad inteligente entonces, es una ciudad que utiliza tecnología digital para mejorar la eficiencia y resolver los problemas urbanos [3]. En consecuencia, algunos aspectos importantes que se deben activar en las ciudades inteligentes son [4]:

**La Innovación Económica**, con la innovación en las industrias, la potenciación del conocimiento, la potenciación de la educación y empleo y la creación de nuevo conocimiento.

**La Infraestructura Urbana**, con una mejora y potenciación del Transporte, utilidad energética, protección y seguridad del medio ambiente.

**La Gobernanza**, con una democracia más participativa y directa, servicio al ciudadano para mayor calidad de vida, mejor servicio de la administración del ciudadano.

Sin duda, la ciudad inteligente o smart city, es uno de los términos que mayor expansión ha tenido a la hora de referirse a un nuevo modelo de hacer ciudad [5]. Este concepto no solo se centra en los nuevos proyectos de crecimiento urbano, se dirige también a la adecuación de las actuales ciudades en ciudades inteligentes [6], si se tiene en cuenta que para el 2050, las ciudades albergarán el 70% de la población mundial, lo que exigirá expansión e infraestructura.

Las áreas urbanas crecen a un ritmo acelerado. Bajo el concepto de ciudad inteligente, las urbes a lo largo y ancho del mundo, han emprendido acciones para mejorar las condiciones de vida de sus habitantes, y diferenciando ciertos parámetros por los que se valora más a una ciudad que otra. Para ello se consideran 10 dimensiones que son clave: Gobernanza, planificación urbana, gestión pública, tecnología, medioambiente, proyección internacional, cohesión social, movilidad y transporte, capital humano y economía [7].

Las ciudades más inteligentes impulsan el crecimiento económico sostenible y la prosperidad para sus ciudadanos. Sus dirigentes disponen de las herramientas necesarias para analizar los datos que les permitirán tomar mejores decisiones, anticiparse a los problemas para resolverlos de forma proactiva y coordinar los recursos para actuar de forma eficiente [8].

La población urbana ha crecido de forma progresiva a lo largo del siglo XX, de manera que mientras en 1950 apenas un 30 % de la población mundial vivía en áreas urbanas [9]. En 2007, por primera vez en la historia de la humanidad, la población urbana mundial superó a la rural y el mundo se hizo predominantemente urbano. De tal manera que para 2015, el 54% de la población mundial es urbana y está previsto que se alcance el 60% en 2020 lo que equivaldrá a más de 5.000 millones de urbanitas [10]. Las proyecciones de futuro muestran que este fenómeno demográfico de traslado del campo a la ciudad se va a consolidar en los próximos años. Se espera que en 2050 la distribución de la población se haya invertido con respecto a un siglo antes: solo un tercio del mundo será rural [11].

Fig. 2. Población urbana y rural mundial en millones (1950 - 2050).

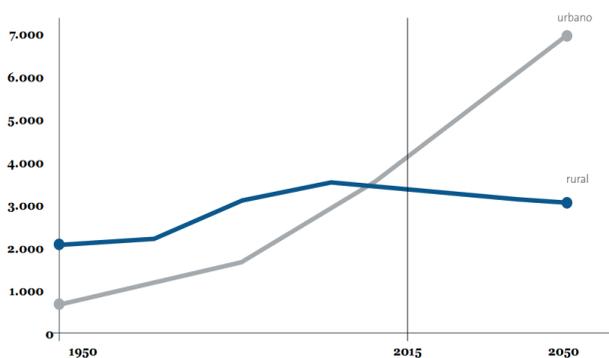


Gráfico 1. Población urbana y rural mundial en millones (1950 - 2050). Fuente: [11]

El grado de la urbanización a nivel regional dista de ser homogéneo. En 2015, el continente americano ya supera el 80% de población urbana. Europa le sigue con un 73%, que se espera aumente a un 80% en 2050. El contraste lo proporcionan África y Asia, que siguen siendo todavía predominantemente rurales (40% y 48% de población urbana respectivamente – véase gráfico 2) [11].

Grandes planes en cuanto a ciudades inteligentes se están llevando a cabo al rededor del mundo, desde América del Norte y Europa Occidental a las naciones en desarrollo como Asia y África, al igual que China, India y Nigeria. Entre los principales factores que impulsan esta necesidad está el rápido crecimiento de su población, la rápida urbanización e industrialización. Es allí donde las iniciativas de ciudades inteligentes están diseñadas y construidas para atender todos estos desafíos, no solo incluyendo la seguridad ciudadana y el bienestar, también la gestión del agua, gestión de la energía, la movilidad urbana, y la iluminación de las calles [12].

Fig. 3. Distribución mundial de la población urbana (1950-2050).

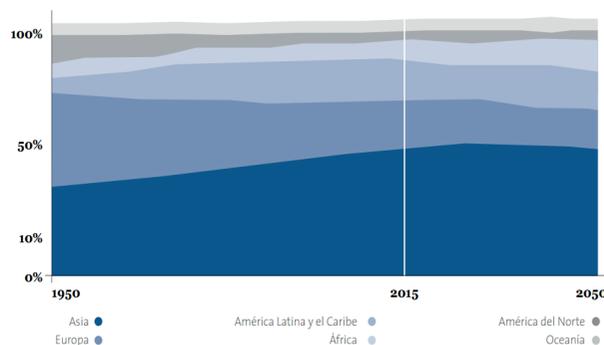


Gráfico 2. Distribución mundial de la población urbana (1950-2050). Fuente: [11].

Juniper Research en 2015, reveló una clasificación con las mejores ciudades inteligentes a nivel mundial para ese año [34], resaltando en primer lugar a Barcelona (España), en segundo lugar New York (USA), luego, London (Inglaterra), Nice (Italia) y Singapore (Singapore) en quinto lugar como las ciudades con mayores capacidades “inteligentes”, con especial énfasis en el uso de redes inteligentes, gestión inteligente del tráfico e iluminación inteligente de calles, aspectos como la capacidad tecnológica y la cohesión social. Para este año, la ciudad de Barcelona se desempeñó consistentemente bien en todas las métricas y sirvió como un modelo de éxito del que otros pueden aprender, reforzado por fuertes iniciativas ambientalmente sostenibles. Por lo general, las clasificaciones de ciudades inteligentes, exigen un alto nivel de compromiso con la democracia y la sostenibilidad local, pero cada estudio presta diferente atención a los distintos criterios.

En este caso, por ejemplo, las clasificaciones de Juniper Research se centran en la destreza con que las ciudades implementan de forma inteligente la sostenibilidad y eficiencia. Sin embargo, hay otros estudios como el de Fast Company (<https://www.fastcompany.com/>) que se enfoca sobre las mejoras en la prestación de servicios a los ciudadanos. Mientras que Intelligent Community Forum ([www.intelligentcommunity.org/](http://www.intelligentcommunity.org/)), por ejemplo, tiende a centrarse en las zonas urbanas de tamaño medio que han aprovechado con éxito las nuevas tecnologías para reinventarse.

En este sentido, la clasificación mostrada por cada una de ellas para 2015 se relaciona a continuación (véase gráfico 3):

Smartness rankings & some of their favorite cities		Livability rankings & some of their favorite cities		
<b>Juniper Research</b> "Global Smart City" 1 Barcelona Spain 2 New York City USA 3 London Great Britain 4 Nice France 5 Singapore Republic of Singapore	<b>Fast Company</b> "Top 10 Smart Cities" 1 Vienna Austria 2 Toronto Canada 3 Paris France 4 New York City USA 5 London Great Britain	<b>ICF</b> "Intelligent Communities" 1 Columbus USA 2 Arlington County USA 3 Surrey Canada 4 Ipswich Australia 5 Mitchell USA	<b>Economist</b> "Global Livability Ranking" 1 Melbourne Australia 2 Vienna Austria 3 Vancouver Canada 4 Toronto Canada 5 Calgary Canada	<b>Mercer</b> "Quality of Living Survey" 1 Vienna Austria 2 Zurich Austria 3 Auckland New Zealand 4 Munich Germany 5 Vancouver Canada

Gráfico 3. Ranking de Ciudades inteligentes.  
Fuente: [13]

Para el 2016, un nuevo estudio realizado por Juniper Research en donde evalúa unas 40 métricas, que abarcan tecnología, transporte, energía, datos abiertos y economía, a ciudades en todo el mundo, se encontró en primer lugar a la ciudad de Singapur (Singapur), seguido de Barcelona (España), London (Inglaterra), San Francisco (USA) y Oslo (Noruega) [35]. Se encontró que Singapur es un líder mundial en la aplicación de las políticas de movilidad y tecnologías inteligentes. Su servicio de banda ancha, las aplicaciones de la ciudad y una fuerte política de datos abiertos la llevaron a ocupar el primer lugar en 2016.

### La ciudad, una gran generadora de datos

Años atrás los datos generados y trabajados en las ciudades y de los ciudadanos eran de tipo estático. Hoy en día, es posible encontrar enormes volúmenes de información de todo tipo, incluida la de tipo geoespacial, que es gestionada por las administraciones pero que no siempre está disponible para los ciudadanos y la sociedad.

Más sin embargo, uno de los problemas más habituales entre los usuarios de la información geoespacial y que más recursos (tiempo, dinero, esfuerzo...) consume, es el intercambio de datos geográficos entre distintos sistemas, uso de distintos formato, en los modelos, en el volumen a compartir y en las políticas de uso [14].

Durante las últimas décadas, las decisiones sobre las infraestructuras y los servicios de la ciudad se han basado principalmente en datos estructurados almacenados en numerosas bases de datos relacionales, reguladas por diferentes organismos públicos. Actualmente, las ciudades se enfrentan a un aumento de cien mil veces en su volumen de datos. Este aluvión de datos se ha originado a partir

de la proliferación de tecnologías (p.e., el Internet de las cosas, teléfonos móviles, sensores, etc...), las iniciativas de datos abiertos y el contenido generado por los usuarios. En la ciudad cada tipo de dato debe ser abordado de una manera diferente, y su conjunto ofrecen mayores oportunidades para hacer más inteligentes las ciudades, como un todo coherente e interoperable [15]. Con lo anterior, como generadores de datos en una ciudad se pueden mencionar los siguientes:

**Datos abiertos:** datos no confidenciales no restringidos en privacidad. Producidos con recursos públicos o privados y se ponen a disposición sin ningún tipo de restricción para su uso o distribución. En tal caso, los gobiernos en todo el mundo han proporcionado miles de conjuntos de datos abiertos (transporte, agua, medio ambiente y geoespacial...) para hacer frente a los problemas urbanos complejos.

**Datos privados:** datos restringidos y/o con licencia, incluyendo el permiso, la privacidad, la publicación y distribución. Producidos ya sea con recursos públicos o privados. Por lo general son datos recogidos en el curso de las actividades de un sector. Este tipo de datos puede ser información de identificación personal, datos demográficos, registros de salud, información de seguridad nacional, y la información legal relativa a las personas o empresas en manos de empresas o autoridades. Debido a su naturaleza sensible, el tipo de datos están sujetos a controles más estrictos que otros tipos de datos.

**Datos comerciales:** datos con licencia, incluyendo el permiso, carga, uso y distribución. Producidos ya sea con recursos públicos o privados. Estos datos pueden revelar información importante acerca de las personas, lugares, servicios y negocios. Este tipo de datos se pueden originar a partir de las instituciones financieras, servicios de comunicación, incluyendo los datos de localización, tiendas, servicios, etc. Por ejemplo, la compra de bienes pueden revelar información sobre los ingresos, la información de la ubicación del individuo pueden proporcionar información acerca de cómo las personas se trasladan en la ciudad.

**Datos sensoriales:** datos abiertos y/o restringidos, recogidos por los sensores, actuadores y dispositivos propiedad del sector público, privado, y ciudadanos. Las infraestructuras, estarán dotadas por datos multiestructurados en tiempo real, que están catalizados por millones de dispositivos conectados en redes electrónicas, y serán los encargados de gestionar y operar la infraestructura de la ciudad (por ejemplo, sensores, tarjetas inteligentes, contadores inteligentes, reconocimiento de

matrículas cámaras, actuadores, luminarias, etc.). Los datos sensoriales se recoge mediante diferentes dispositivos conectados, por lo general de naturaleza diversa (temperatura, luz, leña, multimedia, etc.), sobre todo lugar y tiempo dependiente, y presentan diferentes niveles de calidad.

**Datos del sector público:** datos restringidos relativos a la ubicación, la seguridad nacional, la sensibilidad comercial y privacidad. Los datos producidos, recogidos o financiados por el sector público.

**Datos del sector privado:** datos producidos, recogidos o financiada por el sector privado, que puede ser abiertos, privados y comerciales. En el caso de los datos privados, las restricciones de uso y distribución se deciden por las empresas de manera individual.

Multitud de fuentes de datos (ciudadanos): datos proporcionados, recogidos y distribuidos por los seres humanos a través del uso de las tecnologías digitales y las redes sociales.

El contenido geográfico generado por los usuarios y de colaboración abierta, son de hecho dos características importantes para una ciudad inteligente la ciudad inteligente. Los ciudadanos utilizan cada vez más la tecnología, especialmente la tecnología móvil, para contribuir de manera voluntaria y proporcionar información local y compartida basada en el lugar. Ellos mismos se convierten en productores y consumidores de esta información [16].

Los ciudadanos, son capaces de proporcionar en sus redes sociales (p.e.) información en tiempo real sobre sus experiencias espaciales, compartir recuerdos personales, informar sobre las ineficiencias y las áreas problemáticas dentro de la ciudad, o la calificación de los servicios prestados en diferentes lugares. Este tipo de servicio se basado en colaboración, y soportada en los sistemas de localización, hace de la comunidad una fuente de información, convirtiendo a los ciudadanos en sensores [17].

Este término de “ciudadanos como sensores”, también es tema importante para las Infraestructuras de Datos Espaciales, ya que muestra espacialmente a aquellos ciudadanos como una fuente dinámica de información para alimentar las IDE, así como el sistema de seguimiento de las ciudades inteligentes [16].

Los ciudadanos generan gran cantidad de datos que pueden ser subidos y facilitados a través de Internet a través de gran cantidad de herramientas

dispuestas en la web, y que permiten gestionar, visualizar, socializar y compartir dichos datos, para hacer de estos, información accesible para cualquier usuario. El ordenador nos ha permitido crear contenido, e Internet, compartirlo. Pese a la existencia de diferentes tipos de sensores, que son el principio de una Smart City y la base de su funcionamiento, en la actualidad hay información de una Smart City realmente útil que es imposible de almacenar por un sensor. Es en este punto donde los “ciudadanos inteligentes” son los protagonistas [18]. Como ejemplo de este tipo de información podemos señalar: informar sobre el mal uso de las infraestructuras públicas de la ciudad, informar sobre accidentes de tráfico, informar sobre el estado del tráfico, posibles atascos o vías en mal estado, etc.

Por otro lado, en una ciudad inteligente los sensores inteligentes (es aquel que combina la función de detección y alguna de las funciones de procesamiento de la señal y comunicación), están repartidos por toda la ciudad y proporcionan la información a las administraciones públicas o directamente al ciudadano a través del Wifi y a tiempo real. Por lo tanto, en una Smart City cualquier ciudadano puede consultar el dato que necesite a través de algún dispositivo electrónico. Así, toda la ciudad puede estar conectada, y sus ciudadanos también.

Los muchos y variados tipos de sensores que se pueden ubicar en las ciudades inteligentes, van desde aquellos que controlan el tráfico y el estacionamiento hasta los niveles de polen o de CO<sub>2</sub> que hay en la ciudad. Así entonces, los más básicos e importantes, y que proporcionan la información más relevante, son [18]:

Sensores de aparcamiento, facilitan la fluidez del tráfico dentro de las ciudades, evitando así que los automóviles estén dando vueltas en busca de aparcamiento.

Sensores de tráfico, facilitan a los ciudadanos y a las administraciones públicas saber el estado del tráfico, posibles incidencias o incluso elegir la ruta de menos congestión. También contribuyen al manejo de los semáforos, como de las vallas o puentes elevadores.

Sensores de humedad, contribuyen a la gestión de parques y jardines públicos, haciendo que el regado sea cuando realmente la tierra lo necesite y durante el tiempo justo. Estos sensores pueden ajustar el riego y así ahorrar mucha agua.

Sensores de luz, es uno de los más comunes. Detecta si se hace de noche o amanece o si la ciudad necesita más luz o menos a causa del tiempo. El sensor de luz hace que el alumbrado público se encienda o apague, en función de la luz natural que hay en la ciudad.

Sensores de paso, pueden hacer que el alumbrado público permanezca con una luz tenue hasta que detecte el paso de algún vehículo o peatón. Es en ese momento cuando la luz del alumbrado por esa zona se intensificará hasta que deje de detectar el paso del vehículo o peatón.

Sensores meteorológicos y de contaminación. Con los meteorológicos se puede conseguir la monitorización y seguimiento de los parámetros ambientales. Medir, por ejemplo, la calidad del aire, la calidad del agua, el ruido, la humedad, la temperatura y la concentración de polen. En cambio, los sensores de contaminación miden otras variables medioambientales, como la concentración de CO<sub>2</sub> y de las partículas en suspensión.

Sensores de recogida y tratamiento de residuos urbanos, avisan, por ejemplo, cuando los contenedores están llenos y ayudan a planificar la retirada de los residuos según las necesidades reales de la ciudad. Este hecho hace que las rutas de los recogedores de basura sean más eficaces.

Sensor de control de consumo de agua y electricidad, tienen la función de concienciar al ciudadano sobre el consumo que hace de estos dos recursos. Estos sensores interactuarán con algún dispositivo donde se reflejará la lectura del consumo, en búsqueda de un mayor ahorro energético.

Sensores de la red eléctrica, hacen que la red eléctrica de la Smart City sea inteligente, avisando de las incidencias que se producen a lo largo de la red eléctrica, de los datos de consumo o de la meteorología (estos últimos para prevenir posibles incidencias a causa de algún fenómeno climático).

Muchas iniciativas de esta índole se presentan actualmente alrededor del mundo, y que se sustentan incluso en otra serie de tecnologías, como la geolocalización, o el Internet de las Cosas (IoT). Ejemplo de ello lo encontramos en Barcelona, España, un proyecto del Fab Lab Barcelona4 ideado para formar la mayor red de “sensores ciudadanos de la ciudad”, con el objeto de visualizar y compartir, de una forma distribuida, los datos ambientales que día a día se generan en el área metropolitana. Y, por supuesto, sensibilizar sobre ello [19]. El proyecto consta de un kit de sensores capaz de recolectar información acerca de variables ambientales como: temperatura, sonido, humedad, calidad de aire, radiación solar y luz entre otros.

## Uso de las Infraestructuras de Datos Espaciales – IDE

Desde un punto de vista tecnológico y social, vivimos inmersos en ese fenómeno llamado “globalización”, un proceso traído de la mano por la evolución de las TIC, por el que la creciente conectividad e interdependencia entre todos los países del mundo y entre todos los ámbitos de actuación, unifica mercados, sociedades y culturas. En este sentido, actualmente cualquier tipo de información tecnológicamente relevante la encontramos en la web. Ante esto, la información geoespacial no es ajena a esta situación, y como consecuencia del impacto de esa globalización en el sector de la Información geoespacial, emergen las Infraestructuras de Datos Espaciales – IDE, como evolución de los Sistemas de Información Geográfica (sistema para la gestión, análisis y visualización de conocimiento geográfico estructurado en diferentes conjuntos de información). Una IDE es, nada más y nada menos, que un SIG implementado sobre Internet, una IDE es un SIG globalizado [20].

Un aspecto central en la comprensión de esta evolución es el potencial desarrollo de la cartografía, y la manera práctica de ser visualizada. Otro aspecto relevante es el exponencial desarrollo y crecimiento de la gestión territorial representados en una gran cantidad de iniciativas a nivel nacional e internacional.

Como resultado del impacto de la globalización en el sector de la información geoespacial y del retorno efectivo de la filosofía de los sistemas abiertos (es aquel que proporciona alguna combinación de interoperabilidad, portabilidad y uso de estándares abiertos), y suponen un avance muy notable en la madurez tecnológica de la Geomática (es el término científico moderno que hace referencia a un conjunto de ciencias en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica. También llamada información espacial o geoespacial), al aportar la estandarización de las interfaces de uso y la normalización de los servicios en que se basan [21].

Las IDE responden a un modelo de pensamiento en el que sobresale el trabajo colaborativo tanto vertical como horizontal en todas las escalas [22]. Una IDE es una jerarquía integrada, de múltiples niveles de IDE interconectadas por medio de asociaciones a nivel corporativo, locales, estatales/provinciales, nacionales, regionales (multinacionales) y globales.

4 Fab Lab Barcelona, <https://fablabbcn.org/>.

Esto permite a los usuarios ahorrar recursos, tiempo y esfuerzo cuando se trata de adquirir nuevos conjuntos de datos, evitando duplicidad de gastos asociados con la generación y mantenimiento de los datos y su integración con otros datos [16].

Ante esto se puede decir que una IDE, puede ser vista como una solución basada en la red para proporcionar un acceso fácil, consistente y efectivo a la información y servicios geográficos para mejorar la toma de decisiones en el mundo real en el que vivimos y nos relacionamos [23].

Las IDE han supuesto de hecho la superación de los principales problemas que presentaban el uso de los SIG tradicionales (duplicidad de datos, modelos y formatos poco normalizados, información de difícil acceso, etc.), posibilitando datos vía Web, más accesibles, normalizados y en tiempo real.

Como se mencionó con anterioridad, las ciudades inteligentes pueden identificarse o agruparse en seis ejes o características: economía inteligente, movilidad inteligente, ambiente o entorno inteligente, ciudadano inteligente, vivienda inteligente y gobernanza inteligente. En este contexto, las ciudades deben ser vistas como espacios idóneos, donde su información debe estar organizada a través de un sistema de información geoespacial centralizado. Para ello surgieron las IDE, para contar con datos homogéneos, validados, oficiales, de calidad y en tiempo real.

El esquema general que configura una IDE como el eje central alrededor del cual construir los servicios de la ciudad inteligente, recoge varios modos en el nivel de captación de información: datos de referencia, información en tiempo real, datos históricos e informaciones de terceras partes [24].

El máximo nivel en la creación de datos en la ciudad se encuentra en la información ubicua. Se asocia con el nivel superior de madurez (conectado). Se consigue cuando, en cualquier momento o lugar, información a medida es entregada de forma proactiva a los ciudadanos (sólo aquellos que lo desean), sin necesidad de ir ellos mismos a buscarla. Tanto el alojamiento ubicuo de los datos como la conectividad de cualquier sensor (p.e., internet de las cosas) son los pilares sobre los que se sustenta este nivel de madurez, que al combinarse con los perfiles de los ciudadanos habilita la información a medida. La información se puede organizar a través de plataformas abiertas y seguras, y empresas privadas y públicas pueden acceder a dicha información a través de mecanismos que permiten innovar y optimizar sus operaciones [25].

Los sistemas de información actuales no solo permiten capturar la información de una manera más eficiente, sino que ofrecen una información en tiempo real a quien la requiera, como acción que permita tomar decisiones en un punto concreto del territorio. La ciudad es ante todo un espacio geográfico muy complejo. Su pueden analizar desde grandes dinámicas de movimiento diario de la periferia al centro, hasta dinámicas más concretas [26].

### La Infraestructura IDE en las ciudades inteligentes

Los datos geoespaciales son fundamentales para un sinnúmero de acciones en una ciudad inteligente, desde la planificación de la ciudad a la atención al ciudadano.

Muchas ciudades en el mundo se están guiando por las Infraestructuras de Datos Espaciales, como herramienta para la planificación y supervisión del desarrollo espacial y la consecución de los resultados deseados. La avanzada tecnología disponible a través de imágenes de satélite y plataformas SIG está facilitando este proceso [27].

A lo largo y ancho de este mundo, administraciones, empresas de servicio y de transporte, ciudadanos del común y otras entidades, se están asociando en busca de nuevas tendencias tecnológicas que les permitan mejorar las interconexiones entre las ciudades y sus habitantes, así como para desarrollar formas más eficientes de trabajo y construir entornos urbanos de calidad, es decir, en busca de crear ciudades inteligentes [28].

Las ciudades proliferan como los elementos más comunes en la organización del territorio a la hora de analizar la población y así se augura que sea en el futuro. Bien sean inteligentes, sostenibles o creativas, necesitan de unos sistemas de gestión bien desarrollados y certeros [5]. Las Infraestructuras de Datos Espaciales, IDE, se constituyen como una herramienta fundamental para ordenar, clasificar y planificar sobre la ciudad.

Tecnologías como estas juega un papel fundamental y más en la apropiada gestión del territorio. Más del 80% de la información que maneja actualmente un ayuntamiento (alcaldía) está geoposicionada, las infraestructuras, el patrimonio, parques y jardines, niveles socio-económicos, inversión, etc., todo está o puede estar representado espacialmente. Las Infraestructuras de Datos Espaciales, por tanto, se constituyen como el eje central que permite conectar todo lo que supone una Ciudad Inteligente [29].

Muchas son las soluciones sobre Infraestructuras de Datos Espaciales que encontramos en la web y que pueden ser en un 100% libres, ejemplo de ello la que plantea y ofrece la Asociación gvSIG, solución valenciana (España), que permite realizar las acciones de todo un Sistema de información Geoespacial.

Sin duda la tecnología debe acompañar y prestar servicio a la sociedad en aras de hacer la vida más fácil al conjunto de la ciudadanía, y permitir avances en el desarrollo de un entorno urbano inteligente basado en una visión común que tenga en cuenta parámetros sociales, medioambientales y económicos de las ciudades. En tal sentido y según criterios establecidos en la Comunidad Europea, por ejemplo, los proyectos que se realicen en esta dirección deben ir encaminados a [30]:

Impulsar la demanda del mercado de soluciones inteligentes en la ciudad mediante el aumento de la concienciación de los consumidores acerca de las tecnologías y los procesos utilizados en la implementación de soluciones ciudad inteligente.

Actuar como palanca a través de herramientas de adquisición y planificación de la inversión para las administraciones locales y las empresas.

Favorecer una mayor participación y aceptación por parte de los ciudadanos.

Garantizar las condiciones marco para la organización de las compras públicas conjuntas, transfronterizas, vinculadas a implementaciones en la ciudad inteligente.

En este sentido, y aprovechando el impulso de la Comunidad, muchos Ayuntamientos en Europa han desarrollado actuaciones en el ámbito de las Ciudades Inteligentes, desde diversos ámbitos mundiales, América, Europa, África, Asia, etc., se promueven iniciativas para la difusión y utilización de la información geoespacial, fomentando, apoyando y fortaleciendo el desarrollo de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE).

Ejemplo de ello podemos mencionar el proyecto integral de “Sevilla Ciudad Inteligente”, que promueve la gestión automática, innovadora y eficiente de los servicios públicos y de las infraestructuras urbanas de la ciudad, la reducción del gasto público y la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, consiguiendo de este modo atraer actividad económica y generar progreso y conocimiento transferible [31]. El componente geográfico de una Ciudad Inteligente es una pieza clave porque la ciudad es un organismo espacial y

las actividades que se desarrollan en ella afectan y se ven afectadas por ese espacio urbano común.

Otro ejemplo práctico, para abordar problemáticas de índole geográfico, surgen la iniciativa de evolución de la plataforma de Infraestructura de Datos Espaciales del Ayuntamiento de Sevilla, que va a permitir cambiar la forma en que se produce y gestiona la información geográfica municipal y la forma en que se consume esa información, orientándola a una búsqueda, compartición, edición y publicación de datos sencilla y sobre todo fomentando la participación a todos los niveles [32].

La mayor parte de los datos tiene un lugar en el espacio, en el territorio, y es esto lo que posibilita a las IDE que sean un gran repositorio de datos, potente, práctico y versátil para la ciudad [6]. La inmensa producción de datos adquiridos en la ciudad requiere de formas de gestión adecuadas para hacer de esta información una valiosa herramienta que provea el máximo beneficio posible ante una acertada toma de decisiones.

Todo sucede en algún lugar“, esta es la premisa básica para poder crear estas conexiones que hacen las ciudades inteligentes. Sólo cuando se tiene conocimiento de la ubicación de los datos, se pueden establecer estas conexiones. Pero el gran desafío al que se enfrentan las ciudades modernas para la gestión de esta información, es la gran cantidad y complejidad de la información geoespacial que se recibe para analizar [28].

La planificación y gestión del desarrollo sostenible de una región, exige el análisis y tratamiento de grandes volúmenes de información con contenido espacial. Para analizarlos y gestionarlos rápidamente, se deben organizar sistemas de información basados en la informática. El término IDE, constituye el soporte para que la información y las actividades sociales y económicas cuenten con una componente espacial [33].

## Conclusiones

La finalidad de una Ciudad inteligente o Smart City es lograr una gestión eficiente en todos los ámbitos de la ciudad, urbanismo, infraestructuras, medioambiente, transporte, servicios, educación, sanidad, seguridad pública, energía, etc., y ante esto, una Infraestructura de Datos Espaciales aplica como una herramienta de solución basada en la web para proveer un acceso fácil, consistente y efectivo a la información y a los servicios geoespaciales como soporte para mejorar la toma de decisiones en el mundo real, y satisfaciendo a la vez las necesidades

de la urbe y de sus ciudadanos.

Estos últimos, los ciudadanos generan gran variedad de datos que pueden ser suministrado vía web a través de una serie de herramientas que permiten gestionar, visualizar, socializar y compartir dichos datos, para hacer de estos, información accesible para cualquier usuario. Esta situación hace que los ciudadanos se conviertan en verdaderos protagonistas.

Por otro lado, las ciudades inteligentes estarán provistas de elementos que combinen la función de detección, procesamiento y comunicación de los datos, facilitando información tanto a las administraciones públicas o privadas, o directamente al ciudadano a través de la red e implementada por medio de una Infraestructura de Datos Espaciales y en tiempo real. Por tanto, en una ciudad inteligente cualquier ciudadano podrá consultar la información que requiera desde estas IDE y a través de algún dispositivo electrónico. Así, tanto la ciudad como sus ciudadanos podrán estar conectados permanentemente y además permitirá hacer un seguimiento de la información en el tiempo como estrategia de mejora para el óptimo desarrollo y gestión de las ciudades y de sus ciudadanos.

## Referencias

[1] Hamzah, H. et.al., (2016). A Smart City Assessment Framework. Faculty of Built Environment, University of Malaya, Malaysia. Consultado el 25 de agosto en, [https://www.researchgate.net/publication/303288980\\_A\\_SMART\\_CITY\\_ASSESSMENT\\_FRAMEWORK](https://www.researchgate.net/publication/303288980_A_SMART_CITY_ASSESSMENT_FRAMEWORK).

[2] Curry, E. et.al. (2016). Smart cities – enabling services and applications. Journal of Internet Services and Applications. Consultado el 25 de octubre de 2016, en <http://jisajournal.springeropen.com/articles/10.1186/s13174-016-0048-6>.

[3] Kim, D. (2016). U of C urban planning team studies smart cities. Gauntlet. Consultado el 31 de octubre de 2016, en <http://www.thegauntlet.ca/u-of-c-urban-planning-team-studies-smart-cities/>.

[4] Kumar, P. (2016). ¿What's The Real Mean of 'Smart City'? Smart City Projects. Consultado el 25 de octubre de 2016, en <http://www.smartcitiesprojects.com/whats-the-real-mean-of-smart-city/>.

[5] Bustillo, E., Rodríguez, P. (2015). Los Sistemas de Información Geográfica y las Ciudades Inteligentes POLÍGONOS. Revista de Geografía 2015, n° 27, 257-270.

[6] Endesa (2016). Smart Cities. Consultado el 15 de febrero de 2016, en [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/smart-city/](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/smart-city/).

[7] Sostenibilidad.com. (2016). ¿Qué es una Smart City? Top 5 ciudades inteligentes. Consultado el 16 de febrero de 2016, en <http://www.sostenibilidad.com/>.

[8] IBM España. (2015). Ciudades inteligentes. El conocimiento necesario para identificar, transformar y progresar. Consultado

el 16 de febrero de 2016, en [http://www.ibm.com/smarterplanet/es/es/smarter\\_cities/overview/](http://www.ibm.com/smarterplanet/es/es/smarter_cities/overview/).

[9] Santiago, D. (2016). Implementing Smart City Projects in small and medium sized towns: Analysis of Experiences in Castile – León. Revista Jurídica de Castilla y León. N° 39.

[10] Naciones Unidas, 2014. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights.

[11] Gildo S. (2015). Smart Cities: La transformación digital de las ciudades. Centro de Innovación del Sector Público de PwC e IE Business School. Consultado el 27 de octubre de 2016, en <https://iot.telefonica.com/libroblanco-smart-cities/media/libroblanco-smart-cities-esp-2015.pdf>.

[12] Power, D. (2016). Are smart citizens getting lost in the rush to build smart cities?. Readwrite. Consultado el 31 de octubre de 2016, en <http://readwrite.com/2016/04/11/smart-citizens-lost-rush-make-smart-cities-cl4/>.

[13] Urban Hum. (2015). Scanning for intelligence: identifying the “smartest” city. Consultado el 01 de noviembre de 2016, en <http://www.urban-hub.com/ideas/which-is-the-smartest-city-in-the-world/>.

[14] Mas, S., Rodríguez, A., Bernabé, M. (2012). Capítulo 1: Compartir Datos Geográficos. En: Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales. Pag. 35-38. Madrid: UPM Press, 1ª edición.

[15] Suzuki, L. (2015) Data as Infrastructure for Smart Cities. PhD Thesis. University College London. Consultado el 31 de octubre de 2016, en [http://www.smartcityresearch.com/2016/09/the-city-data-economy\\_16.html](http://www.smartcityresearch.com/2016/09/the-city-data-economy_16.html).

[16] Roche, S., Rajabifard, A. (2012). Sensing Places' Life to make City Smarter. Consultado el 25 de octubre de 2016, en [http://wan.poly.edu/KDD2012/forms/workshop/UrbComp2012/doc/UrbComp2012\\_Paper10.pdf](http://wan.poly.edu/KDD2012/forms/workshop/UrbComp2012/doc/UrbComp2012_Paper10.pdf).

[17] Goodchild, M. (2007). Citizens as sensors: Web 2.0 and the volunteering of geographic information. Geofocus, 7, 8–10.

[18] EndesaEduca. (2016). Smart Sensors. Consultado el 26 de agosto de 2016, en [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/smart-city/smart-sensors](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/smart-city/smart-sensors).

[19] Fundación Telefónica. (2016). Internet de las Cosas (IoT): Sensores Ciudadanos. Consultado el 26 de agosto de 2016, en <https://innovacioneducativa.fundaciontelefonica.com/blog/2016/02/19/internet-de-las-cosas-iot-sensores-ciudadanos/>.

[20] Rodríguez, A. (2007). Las IDE como evolución natural de los SIG. Instituto Geográfico Nacional –IDEE, España. BOLETIC marzo 2007. Consultado el 30 de marzo de 2016, en [http://oa.upm.es/7361/1/Las\\_IDE\\_.pdf](http://oa.upm.es/7361/1/Las_IDE_.pdf).

[21] Rodríguez P., López, E., Abad, P., Sánchez, A., Vilches, L. (2007). “Utilidad y significado de la Infraestructura de Datos Espaciales de España. Hermenéutica de la IDEE”. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas, pág. 441-454. Consultado el 27 de octubre de 2016, en <http://oa.upm.es/7386/1/Utilidad.pdf>.

[22] UNAM - Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. (2014). Infraestructuras de Datos Espaciales y Normatividad Geográfica en México: una perspectiva actual.

Consultado e 27 de octubre de 2016, en [http://www.igeograf.unam.mx/sig/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo\\_siglo21/serie\\_tex\\_uni/infraestructura\\_datos\\_espaciales\\_probatorio.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sig/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_tex_uni/infraestructura_datos_espaciales_probatorio.pdf).

[23] Onsrud, H., 2011. "Spatial Data Infrastructure in Context: North and South" En Nedovic-Budic, Z., Crompvoets, J. and Georgiadou, Y. Londres: Edición, Taylor & Francis, CRC Press.

[24] Pérez, M., López J., Fernández, M., Morán, V., Rodrigo, P. (2013): "Infraestructuras de Datos Espaciales como eje central del desarrollo de las Smart Cities". Actas de las IV Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales (JIIDE'2013). Consultado el 12 de agosto de 2016, en [http://www.idee.es/resources/presentaciones/JIIDE13/jueves/18\\_Smart\\_Cities.pdf](http://www.idee.es/resources/presentaciones/JIIDE13/jueves/18_Smart_Cities.pdf).

[25] Tecno - Cercle Tecnològic de Catalunya (2012). "Hoja de Ruta para la Smart City". Consultado el 27 de febrero de 2016, en <http://smartcities.i-ambiente.es/?q=blogs/los-sig-y-las-ciudades-inteligentes-la-ciudad-como-generadora-de-datos-ii>.

[26] Rodríguez, P. (2016). Los #SIG y las ciudades inteligentes: la ciudad como generadora de #Datos (II). Consultado el 25 de agosto de 2016 en, <http://smartcities.i-ambiente.es/?q=blogs/los-sig-y-las-ciudades-inteligentes-la-ciudad-como-generadora-de-datos-ii#sthash.YY9Rusbp.dpuf>.

[27] TheHindu (2015). Spatial data crucial for smart cities. Consultado el 15 de marzo e 2016, en <http://www.thehindu.com/news/cities/Vijayawada/spatial-data-crucial-for-smart-cities/article7292759.ece>.

[28] Quesada, L. (2015). Las bases de datos espaciales como origen de las Smart City. Consultado el 16 de junio de 2016, en <http://geoinnova.org/>.

[29] GvSIG. (2016). Smart Cities: sin software libre no hay inteligencia. Consultado el 27 de octubre de 2016, en <https://blog.gvsig.org/2016/03/01/smart-cities-sin-software-libre-no-hay-inteligencia/>.

[30] GICI - Grupo Interplataformas de Ciudades Inteligentes (2015). Smart Cities Smart Cities Documento de Visión a 2030. Consultado el 27 de octubre de 2016, en <http://www.futured.es/documentos/GICL.pdf>.

[31] Grupotecopy.es. (2014). Es una iniciativa enmarcada en el Proyecto "Sevilla Ciudad Inteligente". Consultado el 27 de octubre de 2016, <https://www.grupotecopy.es/es/nosotros/327-servicios/tecnologias-de-la-informacion/noticias-destacadas/1139-el-ayuntamiento-de-sevilla-actualiza-su-infraestructura-de-datos-espaciales-ide-con-red-es-y-cotesa.html>.

[32] Ide.sevilla. (2016). Infraestructura de Datos Espaciales. Consultado el 20 de octubre de 2016, en <http://sig.urbanismosevilla.org/InicioIDE.aspx>.

[33] Velazco, S., Joyanes, L. (2014). "Interoperabilidad entre plataformas heterogéneas GIS identidad de un modelo y servicios web en la georreferenciación". Revista Internacional de Ciencias de la Tierra, MAPPING. Vol. 23/No. 163 (2014): 30-41.

[34] Juniperresearch (2015). Barcelona named - Global Smart City – 2015. Consultado el 01 de noviembre de 2016, en <https://www.juniperresearch.com/press/press-releases/barcelona-named-global-smart-city-2015>.

[35] Juniperresearch. (2016). Singapore named 'global smart city – 2016. Consultado el 01 de noviembre de 2016, en <https://www.juniperresearch.com/press/press-releases/singapore-named-global-smart-city-2016>.

## De los autores

**Sandra Yanet Velazco:** Ingeniera Civil, Universidad Francisco de Paula Santander; especialista en SIG, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; doctora en Informática, programa SIG, Universidad Pontificia de Salamanca, España; profesional especializado Decanatura Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Contacto: [sandra\\_velazcof@yahoo.com](mailto:sandra_velazcof@yahoo.com)

**Alexandra Abuchar Porras:** Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Docente de Planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, [abucharalexandra2@gmail.com](mailto:abucharalexandra2@gmail.com)

**Gabriel Andres Alzate:** Ingeniero electrónico – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Estudiante de la maestría en ciencias de la información y comunicaciones– Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Contratista consultor en ciudades inteligentes y tecnologías para la educación– Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – [gaalzatea@correo.udistrital.edu.co](mailto:gaalzatea@correo.udistrital.edu.co) - [gabriel.andres.alzate@gmail.com](mailto:gabriel.andres.alzate@gmail.com).

# Sistemas Integrados de Transporte soportados en el Internet de las Cosas

## Integrated Transport Systems supported on the Internet of Things

Tipo de artículo: Artículo Revisión

Sandra Yanet Velazco Flórez<sup>1</sup>  
Roberto Ferro Escobar<sup>2</sup>  
Katherin Cuartas<sup>3</sup>



### Resumen

La sociedad actual se encuentra inmersa en un era de transformación en donde las cosas hablan con otras cosas y estas conversaciones conllevan el crear nuevos modelos de negocio y de productos. Tiempo atrás, Internet se utilizaba principalmente en la búsqueda de información. Esto ha cambiado. Desde hace década se está viviendo una nueva forma de uso, en donde casi todo pasa por lo social, lo móvil y la transformación.

En este sentido, se puede hablar del Internet de las cosas (IoT), como un modelo de interacción entre personas, cosas y personas. Esta interacción se puede dar desde cualquier lugar y en cualquier momento, mediante dispositivos integrados fácilmente en esto diferentes lugares, para procesar y transmitir información.

Este artículo es un esbozo de la conceptualización e ilustración de la amplitud y alcance del Internet de las Cosas (IoT). Expone la forma en que el IoT está evolucionando y siendo útil en la vida real, mostrando con números y estadísticas el potencial de este fenómeno, su implementación y tendencia de desarrollo con la finalidad de mostrar un panorama más general del IoT y su interacción con los Sistemas Integrados de Transporte – SITP.

**Palabras clave:** Internet de las cosas, IoT, SITP, Sistemas integrados, Machine to Machine.

**Abstract:** Today's society is immersed in an era of transformation where things speak with other things and these conversations involve creating new business models and products. Long ago, the Internet was mainly used in the search for information. This has changed. For the last decade it is experiencing a new form of use, where almost everything happens for social, mobile and transformation.

In this sense, one can speak of the Internet of Things (IoT), as a model of interaction between people, things and people. This interaction can occur anywhere and at any time by easily integrated into this different places, to process and transmit information devices.

This article is an outline of the conceptualization and illustration of the breadth and scope of the Internet of Things (IoT). Exposes how IoT is evolving and being useful in real life, showing with numbers and statistics the potential of this phenomenon, its implementation and development trend in order to show a broader picture of IoT and their interaction with Integrated Transport systems - SITP.

**Key words:** Internet of Things, IoT, SITP, Embedded systems, Machine to Machine.

<sup>1</sup> sandra\_velazcof@yahoo.com

<sup>2</sup> robertoferroes@gmail.com

<sup>3</sup> kacuartasc@udistrital.edu.co

## Introducción

Actualmente el mundo se encuentra inmerso en la denominada sociedad del conocimiento de donde emergen y se implementan cada vez más Tecnologías de información y las comunicaciones (TIC) en la vida cotidiana, para facilitar una comunicación ubicua y asincrónica (SGI, 2016).

El desarrollo en estas áreas contempla ya un futuro cercano donde todas las cosas se interconectarán bajo una red de comunicación máquina a máquina (machine to machine) a través de internet, denominado “Internet de las Cosas – IoT” [1].

Sobre la base de una compleja red que conecta miles de millones de dispositivos y a los seres humanos en una infraestructura multitecnológica, multiprotocolo y multiplataforma. La principal visión del IoT, es crear un mundo inteligente donde lo real, lo digital y lo virtual converjan para crear entornos inteligentes que proporcionen más inteligencia en diferentes campos, el energético, la salud, el transporte, las ciudades, la industria, los edificios y muchas otras áreas de nuestra vida diaria [2].

Este fenómeno IoT marca la evolución actual de la tecnología en el sector de las comunicaciones que está haciendo posible una nueva ola de servicios para mejorar la vida de sus usuarios. Las redes móviles serán fundamentales para implementar la IoT entre “cosas” remotas, diversas y físicamente desconectadas, ya se trate de hogares y artefactos para el hogar, coches u otros modos de transporte, hospitales, escuelas, fábricas, equipo de oficina, y otras “cosas”, y entre esas cosas y las personas. Varios servicios sobre IoT serán transformadores, e impulsarán cambios mediante la interconexión de elementos diferentes de diversas industrias de formas totalmente nuevas [3].

Según el Grupo de soluciones empresariales basadas en Internet (IBSG, Internet Business Solutions Group) de Cisco, el IoT, es sencillamente el punto en el tiempo en el que se conectaron a Internet más “cosas u objetos” que personas [4].

Cada día vemos más y más desarrollos en los que distintos objetos se conectan entre sí y son capaces de tomar de sensorizar, monitorizar y gestionar datos de forma automatizada. En ese sentido, el Internet de las Cosas hace tiempo ya que dejó de ser un mercado potencial para convertirse en una tendencia consolidada en nuestra sociedad, transportes, salud,

smart citie, hasta el punto de que hasta los animales están experimentando sus ventajas [5].

El objetivo de este artículo es de ilustrar la amplitud y alcance del Internet de las Cosas, exponer la forma en que el IoT está evolucionando y siendo útil en la vida real, mostrando con números y estadísticas el potencial de este fenómeno, dando lugar a una competencia más intensa y abriendo caminos para que las empresas en distintos ámbitos logren un acceso mucho más directo y efectivo con sus clientes.

## Que se conoce como internet de las cosas

Se prevé que en 2050 más del 80% de la población viva en ciudades por lo que éstas deben afrontar un conjunto de retos para la posible convivencia de sus ciudadanos. Un ejemplo de estos son el reparto equitativo de bienes y materias primas, el control de la polución, el abastecimiento energético, un plan de movilidad eficiente para el ciudadano y una optimización de los servicios sanitarios y de seguridad que se prestan a la ciudadanía [6].

En la actualidad estamos entrando en una nueva era en la que la conectividad es un servicio casi universal, la mayoría de las personas en los países desarrollados se encuentran conectadas, y la gran novedad es que empiezan a conectarse también los objetos, tendencia que se conoce como Internet de las Cosas [7].

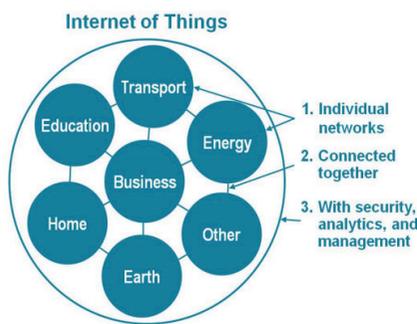
La forma más común de describir al Internet de las Cosas es como un ecosistema de tecnologías que monitorizan el estado de objetos físicos, capturando datos significativos, y comunicando esta información a aplicaciones software a través de redes IP. Estos datos se pueden comunicar al fabricante, al usuario y/o a otros dispositivos conectados a la red [8].

La popularización de conectividad inalámbrica, ya fuese celular o WiFi, durante el inicio del siglo XXI, permitió por fin presenciar una primera explosión en el crecimiento de los objetos conectados. Este crecimiento se ha constatado especialmente en la última década, donde se han venido sucediendo nuevos conceptos como el WSN (Wireless Sensor Networks) o M2M (Machine to Machine), para finalmente dar paso al IoT [9].

Actualmente, Internet de las Cosas está compuesto por una colección dispersa de redes diferentes y con distintos fines (véase gráfica 1). Por ejemplo, los automóviles actuales tienen múltiples redes para controlar el funcionamiento del motor, las medidas de seguridad, los sistemas de comunicación y así sucesivamente. De forma similar, los edificios

comerciales y residenciales tienen distintos sistemas de control para la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado, la telefonía, la seguridad y la iluminación. A medida que IoT evoluciona, estas redes y muchas otras estarán conectadas con la incorporación de capacidades de seguridad, análisis y administración. Esta inclusión permitirá que IoT sea una herramienta aún más poderosa [10].

Figure 2. IoT Can Be Viewed as a Network of Networks



Source: Cisco IBSG, April 2011

Gráfica 1: Internet de las cosas. Fuente: [11]

Se puede decir que el Internet de las cosas es un concepto que quiere agrupar todo tipo de iniciativas que permitan la interacción Machine to Machine, reduciendo de esta forma el error humano y logrando una comunicación interactiva que permita a los usuarios conocer el estado de cierto objeto y modificarlo en tiempo real. El aumento del IoT también significa que estamos en el comienzo de una nueva era de datos. Mostrando como dos de sus componentes principales, su capacidad de capturar datos a través de sensores y su capacidad de transmitir datos vía Internet [12].

Efectivamente, la visión de un mundo en el que todo objeto o recurso que nos rodea está conectado a la red permite anticipar cambios radicales en infinidad de procesos y actividades económicas de toda índole, y con ellos, una demanda de nuevos dispositivos, de interfaces de utilización, de redes de acceso específicas, de servicios de procesamiento, suscripción e intercambio de información. Se trata de generar servicios relacionados con la identidad, estado y localización de objetos, en busca de una mayor productividad, y se espera que sean las áreas de producción industrial, logística (transporte), seguridad ciudadana, medio ambiente y salud las primeras beneficiarias ([13]).

Se requerirá la identificación de los diferentes elementos del mundo real (a través, por ejemplo, de la tecnología RFID) y, la obtención de información del mundo real (sensores) y la actuación sobre

el mismo (actuadores). Así entonces, algunas de las principales características del IoT son: La comunicación pues permite la interconexión de los objetos y la actualización de su estado, localización remota, capacidad para generar información sobre su entorno, generar información necesaria para modificar el entorno de forma remota y por último interfaces de usuario que permiten a las personas comunicarse de manera sencilla e interactiva [14].

Las redes de sensores inalámbricas (WSN) dentro la IoT, ofrecen la capacidad de medir, inferir y entender las variables de ambientes urbanos, industriales, de transporte y hasta de seguridad nacional, entre otros. Del mismo modo, gracias a las tecnologías inalámbricas abiertas como el Bluetooth, RFID, WiFi y las redes celulares; así como a los nodos sensores y actuadores conectados a estas redes; la IoT se encuentra al borde de transformar el actual Internet estático en un futuro Internet totalmente integrado [15].

Las tecnologías de apoyo para el Internet de las Cosas se pueden agrupar en tres categorías: i) las tecnologías que permiten a las “cosas” adquirir información contextual, ii) las tecnologías que permiten a las “cosas” procesar información contextual, y iii) las tecnologías para mejorar la seguridad y la privacidad. Las dos primeras categorías se pueden entender de forma conjunta como bloques de construcción funcionales y necesarios “inteligencia” en “cosas”, que de hecho son las características que diferencian a la IoT a través de Internet habitual [16].

Partiendo de una compleja red que conecta millones de dispositivos y personas en una infraestructura de multi-tecnología, multi-protocolo y multi-plataforma, la visión principal de Internet de las cosas (IoT) es la creación de un mundo inteligente donde lo real, lo digital y lo virtual converjan para crear un entorno inteligente que proporcione más inteligencia a la energía, la salud, el transporte, las ciudades, la industria, los edificios y muchas otras áreas de la vida diaria [44].

## Tecnologías IoT

Cualquier análisis del estado del arte tecnológico del IoT es conveniente realizarla con un enfoque de abajo hacia arriba, desde el objeto conectado hasta la aplicación final. De esta forma se podrá entender previamente las bases técnicas, ventajas y limitaciones sobre los que la aplicación final deberá desarrollarse e integrarse. En consecuencia, se puede hacer una clasificación de las tecnologías en

función de los elementos propios del IoT y de las interfaces entre ellos [9]:

**Tecnologías en objetos conectados.** Más allá de su capacidad de comunicar, los objetos conectados son dispositivos basados en plataformas hardware y software, por lo tanto se necesita una capacidad de proceso y una programación de la misma. El IoT hereda las arquitecturas de microcontroladores más expandidas en el mercado, basando los productos principalmente en núcleos ARM, PIC, AVR, o los más recientes ARM-Cortex M, entre otros. Sobre estos, distintos sistemas operativos intentan tomar posición, ya sean soluciones existentes previamente a la explosión del IoT, como por ejemplo FreeRTOS, eCos, o VxWorks o nuevas propuestas enfocadas sector, como por ejemplo Contiki, TinyOS, RIOT OS o el inminente mbed OS de ARM.

**Tecnologías de comunicaciones en objetos conectados.** Sin comunicación no existe el IoT, pero tampoco existe una única forma de hacerlo. Partiendo del requerimiento de conectividad inalámbrica y de los distintos niveles, esta conectividad puede ser capaz de permitir la interacción directa con un Cloud o puede requerir el uso de repetidores y pasarelas. En el primer caso lo representan las tecnologías tradicionales de conectividad inalámbrica, esto es, el WiFi y la conectividad celular (2G al 4G), ambas de alto consumo energético, pero ampliamente soportadas y con gran cobertura. Dentro de este caso también se puede hablar de las nuevas tecnologías nativas de comunicación para el IoT, como por ejemplo las ya mencionadas Sigfox, LoRa, Weighless y otras. En el segundo caso están las tecnologías que requieren de despliegue de repetidores y/o pasarelas tales como ZigBee, Z-Wave, TinyMesh, IEEE 802.15.4, 6LowPAN, etc. Estas tecnologías han sido claves para el éxito inicial del IoT, pero se revelan en muchos casos como poco eficaces en despliegues amplios al trasladar la responsabilidad de operación de red al cliente final.

Un caso particular dentro del IoT que también ha de considerarse es el de la conectividad entre el objeto conectado y dispositivos móviles o ciertas pasarelas. Para estos casos tecnologías como Bluetooth, sobre todo con su última versión de bajo consumo, el BLE (Bluetooth Low Energy), o NFC, tecnología de comunicación sin contacto derivada del RFID, se revelan como claves en esta interacción que podemos denominar como de área personal. El BLE también se ha revelado muy útil para la realización de balizas de bajo coste con intercambio de información con los móviles, con ejemplos tan mediáticos como los iBeacons.

**Tecnologías aplicativas de red.** La conectividad de los objetos con el cloud o plataformas IoT ha de encaminarse convenientemente. Esta puede ser directamente a través de protocolos de Internet (TCP/IP), puede pasar por una tecnología previa, por ejemplo ZigBee, antes de pasar por una pasarela que traduzca a TCP/IP o puede ir a la red directamente y a través de un cloud o broker propio del operador interactuar con el cloud final. En todos estos casos existen una serie de tecnologías a nivel aplicativo que facilitan esa comunicación. Esta puede ser usando arquitecturas clásicas de Internet como pueden ser arquitecturas REST sobre servicios web, intercambiando datos, representados en XML, JSON u otros, sobre HTTP o nuevas tecnologías propias del IoT, como por ejemplo protocolos como el MQTT sobre TCP o el CoAP sobre UDP y generalmente 6LowPAN, una versión reducida de IPv6 específica para el sector.

**Tecnologías de cloud y big data.** El objeto conectado interactúa de alguna de las formas expuestas con el cloud o plataforma IoT de la aplicación haciendo llegar datos o encaminando nuevos hacia el objeto, sean estos informativos o de gestión. El cloud como tal se sustentará en una arquitectura de servidores de red, bien en propiedad del cliente final o instanciado en un tercero, en donde los grandes como Amazon AWS, Microsoft Azure o IBM Bluemix llevan la voz cantante.

Infinidad de plataformas y clouds IoT inundan el mercado. Soluciones a distintos nivel de inteligencia que procuran evolucionar más allá del simple repositorio de datos dinámico hacia una solución inteligente que incorpore estrategias de análisis de datos y aprendizaje propias del big data y metodologías que descarguen el proceso aplicativo final del vertical. Para ello es fundamental el establecimiento de estrategias eficientes de integración con objetos inteligentes, gestión de red, recolección de datos, su manejo y almacenaje, posibilidad de creación de procesos inteligentes con los mismos e incluso derivar nuevos datos, gestión de alarmas y eventos, la capa de seguridad, el coste asociado o la integración con las aplicaciones finales, etc.

**Tecnologías de aplicación.** Desde este nivel superior del IoT, el enfoque se realiza considerando una arquitectura inferior de objetos conectados, redes de comunicaciones, cloud o plataforma IoT y una serie de procesos asociados e interfaces abiertos. Partiendo de esta base, el usuario final del vertical IoT interactuará con una aplicación o un conjunto de ellas.

El entorno aplicativo no ha de ser únicamente visto como un compendio de listas, tablas, gráficas y controles que permitan interactuar con los elementos de niveles inferiores. La interacción con el usuario final habrá de proporcionar valor añadido y ser de utilidad.

Las tecnologías usadas en este nivel podrán ser de varios tipos: • Hay una aproximación clásica en entornos de ordenadores personales, tabletas o teléfonos inteligentes, con el uso de aplicaciones nativas del cada uno de los sistemas (Windows, OSX, iOS o Android principalmente. En caso de aplicaciones Java, solo Windows y OSX). • De manera general, se podrán usar interfaces web, a ser posible responsivos, compatibles con todas las plataformas. • Combinando ambos casos, hay plataformas IoT y servicios cloud que ofrecen la capacidad de crear aplicaciones IoT directamente en sus entornos de explotación, comercializarlas, derivarlas, etc. Este tipo de entorno se adapta de forma especial al IoT y nombres como Thingworx, Axeda o similares están explotando el modelo de negocio.

### Sistemas Inteligentes de Transporte

Las redes de sensores inalámbricas (WSN) dentro de la IoT, ofrecen la capacidad de medir, inferir y entender las variables de ambientes urbanos, industriales, de transporte y hasta de seguridad nacional, entre otros. Del mismo modo, gracias a las tecnologías inalámbricas abiertas como el Bluetooth, RFID, WiFi y las redes celulares; así como a los nodos sensores y actuadores conectados a estas redes; la IoT se encuentra al borde de transformar el actual Internet estático en un futuro Internet totalmente integrado [15].

Hoy en día y a futuro se prevé por ciudades que usen las tecnologías de la información y las comunicaciones para hacer que tanto su infraestructura crítica, como sus componentes y servicios públicos ofrecidos sean más interactivos, eficientes y que los ciudadanos puedan ser más conscientes de ellos. Esto es lo que define una ciudad futura, inteligente o más llamada Smart City [17].

Es en este sentido que las tecnologías de la información toman relevancia y comienzan a ser soluciones para los ciudadanos comunes entre los principales, aplicaciones se encuentra el desarrollo de sistemas inteligentes de transporte los cuales están definidos como “El sistema que aplica procesos electrónicos, de comunicación e información, por separado o integrado, para mejorar la eficiencia o seguridad de los sistemas de transporte terrestre” [18].



Gráfica 2. Sistemas Inteligentes de Transporte. Fuente: [19]

Conocido por sus siglas en inglés como Intelligent Transportation Systems (ITS), el Sistema Inteligente de Transporte se define, como un sistema avanzado de tecnologías de la información y la comunicación aplicada en el sector del transporte con el fin de aportar mayor información a los usuarios, mayor seguridad y gestión para la optimización de recursos [20].

El Sistema Inteligente de Transporte (SIT) lo constituyen un conjunto de herramientas tecnológicas que sirven para recoger, almacenar y proveer información del tráfico, el cual es monitoreado en tiempo real [21]. Colectivamente y cuando estas tecnologías son cuidadosamente aplicadas, los ITS pueden hacer del sistema de transporte algo más seguro, más eficiente, además de reducir el impacto ambiental que estos causan. Sin embargo, los ITS no pueden remplazar la necesidad de una política de transporte coherente ni la disposición de instituciones competentes en infraestructura adecuada [22].

Los ITS o Sistemas Inteligentes de Transporte abarcan desde la primera central automatizada de control de semáforos hasta los actuales sistemas capaces de determinar alcances entre vehículos, y frenar o acelerar el automóvil en el que están instalados. Su evolución es, más o menos, la de la informática y la robótica aplicadas al transporte [23].

En Colombia el ITS, se ha venido desarrollado a través del proceso de integración del SITP - Sistema Integrado de Transporte Público en la ciudad. Hoy en día existen diferentes sistemas integrados de transporte como estrategia de solución ante las deficiencias identificadas en los sistemas del transporte urbano de pasajeros principalmente en las grandes ciudades del país.

Este tipo de transporte que actualmente se está desarrollando en varias ciudades del País, Pereira, Cali, Barranquilla, Bucaramanga, Cartagena, Medellín y Bogotá. Esta última se muestra como uno de los sistemas integrados de transporte público más grandes del mundo. Hablamos del SITP Transmilenio. Este Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá (SITP), inaugurado en julio de 2012 pese a las fallas presentadas en cuanto al sistema de recaudo, se establece como instrumento para garantizar de mejor manera la calidad de vida sus ciudadanos y optimizando los niveles de prestación de servicio en cuanto a los viajes que se realizan en la ciudad.

Históricamente el transporte público en Bogotá ha presentado problemáticas comunes a las de otras ciudades latinoamericanas; en primer lugar, en el pasado se generó el fenómeno de sobreoferta, según el cual el número de vehículos de transporte público sobrepasó la demanda real de pasajeros.

Un estudio hecho para la entonces Secretaría de tránsito y transporte muestra que para el año 2005 sobraban 7500 vehículos ya que eran muy pocos los que llegaban tener una utilización total de su capacidad. Esto ocasiona que se presentara represamiento y reducción de la velocidad [24].

Las principales características del SITP son el uso de tarjetas electrónicas para pagar el pasaje correspondiente lo que evita que el conductor tenga que recibir dinero durante su trabajo, el uso de paraderos específicos para que los pasajeros puedan abordar el vehículo o dejarlo, la posibilidad de hacer trasbordos a un costo menor, bien sea a una ruta alterna del SITP o a las troncales del Transmilenio.



Gráfica 3. Tarjeta de recaudo para acceso a los buses del Sistema Integrado de Transporte. Fuente: [25]

## Los números del internet de las cosas

Al día de hoy, tres empresas a nivel global se encuentran preparadas para dominar el mundo del Internet de las cosas: Cisco, GE, y Verizon. Aunque no puede ofrecer un tremendo potencial para los inversores dado su tamaño y su lenta tasa de crecimiento, sin embargo estos gigantes, Cisco, GE, y Verizon están compitiendo para convertirse en la columna vertebral de la IoT. Cisco se centra en el hardware, GE se centra en software para los usuarios industriales, y Verizon se centra en los servicios [26]

**Cisco.** A medida que la industria de la IoT crece, la demanda de redes de infraestructura aumenta. De acuerdo con el International Data Corporation<sup>4</sup> - IDC, se espera que el gasto anual (2016) mundial en IoT pueda llegar a \$1.7 trillones de dólares, un aumento significativo sobre los \$656 millones que la industria gastó en 2014. Igualmente se espera que de estos \$1.7 trillones aproximadamente un tercio (\$566 millones de dólares), se gasten en conectividad y servicios. Más sin embargo, de toda esta cantidad nada será gastado en hardware de red. Ante esto, el negocio principal de Cisco es posicionarse como la compañía líder en infraestructura de red gracias a la conducción IoT y el aumento del gasto de hardware.

**La General Electric<sup>5</sup>** – GE, es a la vez un proveedor y un usuario de las tecnologías de la IoT. Como proveedor, GE ha desarrollado un paquete de software basado en la nube (la plataforma Predix, <https://www.ge.com/digital/predix>) que permite a los usuarios mejorar las operaciones de una planta industrial y en tiempo real. Siendo que GE es la única empresa que ha desarrollado un paquete de software disponible en el mercado IoT en favor de los usuarios industriales, la empresa tiene una ventaja del primer movimiento en un mercado que se estima tendrá un valor de \$225 billones de dólares por día.

**Verizon<sup>6</sup>** Wireless, la gran red inalámbrica expansiva de EE.UU., ofrece a los usuarios de IoT acceso inalámbrico fiable y de confianza, con despliegue en distintos campos, lugares remotos, parques eólicos etc., con ahorro en costos de implementación. Después de todo, si las redes inalámbricas están disponibles, no se hace necesaria la instalación de infraestructura tan costosa. Verizon cuentan con el mayor número de abonados en los EE.UU., con planes para comenzar el despliegue de conexiones ultrarrápidas 5G para el próximo año,

<sup>4</sup> International Data Corporation ([idc.com](http://idc.com)), empresa consultora, de análisis e investigación en tecnologías de la información, telecomunicaciones y tecnologías de consumo,

<sup>5</sup> La General Electric, [www.ge.com](http://www.ge.com)

<sup>6</sup> Verizon, [www.verizon.com/](http://www.verizon.com/)

afirmando que las velocidades 5G son 30 a 50 veces más rápidas y mucho más sensible que su actual red 4G, proporcionando el ecosistema para permitir a un mundo totalmente móvil y conectado.

Ante esto, la emoción suscitada en torno al Internet de las cosas, se basa en la idea de que la conexión de miles de millones de dispositivos a Internet mejorará dramáticamente muchas facetas de la sociedad. En tal caso, muchas son las proyecciones que se han realizado para la próxima década en cuanto al potencial de actuación mostrado por el internet de las cosas [26] [27]:

- Para el año 2008, ya habían más “cosas” conectadas a Internet que personas. Se estima que para el año 2020, la cantidad de cosas conectadas a Internet alcancen los 50 mil millones, con \$19 billones de dólares en ganancias y ahorros de costes procedentes de la IoT en la próxima década.
- Los hogares conectados serán una parte muy importante del Internet de las cosas. Hacia 2019, las empresas entregaran 1,9 millones de dispositivos domésticos conectados, lo que supone un ingreso de \$490 millones de dólares.
- Para 2025, el valor total global de la Tecnología de la IoT podría estar en \$6.2 billones de dólares, en donde la mayor parte de ese valor procede de los dispositivos en el sector salud (\$2,5 billones) y las manufacturas (\$2,3 billones).
- Sólo el 0,06% de las cosas que pueden ser conectadas a Internet lo están actualmente, lo que significa que solo 10 mil millones de cosas de los 1,5 billones que existe a nivel mundial están actualmente conectadas.
- Se prevé que para el 2020, el 90% de los automóviles estarán conectados a Internet, en comparación con el 10% en 2012.
- Se prevé que en el sector alimentos, las cocinas conectas contribuirán al menos en un 15% de ahorro en la industria de alimentos y bebidas en 2020.
- Al equipar las luces de las calles con sensores y conexión a la red, las ciudades podrán atenuar sus luces y reducir los costos de energía en 70 o 80%. Solamente estarán a pleno rendimiento cuando los sensores detecten movimiento.
- Con un impresionante 94%, todas las empresas han visto un retorno de sus inversiones en la aplicación del IoT.

- Aunque es probable que en el largo plazo la adopción IoT será masiva, la mayoría de los consumidores actuales (87%) no han oído hablar de éste término.

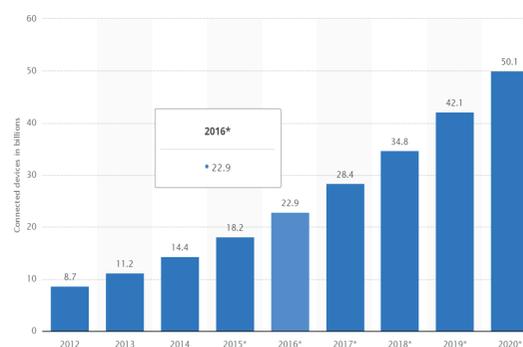
Por otro lado, empresas de consultoría e investigación en las tecnologías de la información, como Gartner, Inc., o Cisco, también dan sus pronósticos:

Gartner Inc., estima que 6.4 mil millones de cosas conectadas estarán en uso en todo el mundo en el año 2016, un 30% más desde 2015, y serán 20,8 millones al 2020. En 2016, 5,5 millones de nuevas cosas, se mantendrán conectados todos los días. Igualmente, estima que los proveedores de productos y servicios de la IoT generarán ingresos mayores a los \$300 mil millones de dólares en el 2020.

Por su lado Cisco estima que entre 2013 y 2022, se obtendrá unos beneficios \$14.4 billones de dólares (beneficio neto) para las empresas a nivel mundial impulsadas por el internet de las cosas. Igualmente estima que 50 millones de dispositivos estarán conectados a internet a finales de 2020, lo que representa un aumento triplicado, de los 15 millones de dispositivos conectados en la actualidad.

Otras cifras son las dadas en este caso por El Foro Económico Mundial<sup>7</sup>, quien estima que en 2020, más de 5 mil millones de personas estarán conectadas, por no hablar de 50 mil millones de cosas. O, la General Electric estima que la convergencia de las máquinas, los datos y los análisis se convertirá en una industria global de \$200 millones en los próximos tres años.

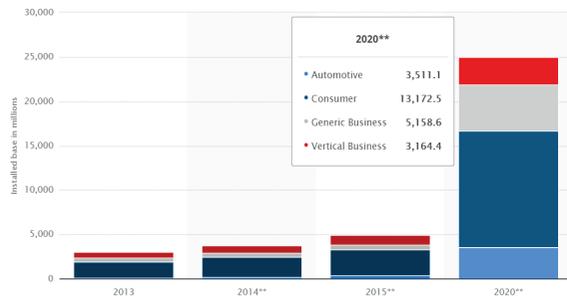
La gráfica 4 muestra estadísticas del número de dispositivos conectados IoT en todo el mundo desde el 2012 al 2020 (en miles de millones). En 2012, el número de dispositivos conectados en todo el mundo alcanzó 8,7 mil millones. En la actualidad se presentan 22.9 mm de conexiones y para el 2020 se presume de más de 50 mm de conexiones en todo el mundo.



Gráfica 4. Número de dispositivos conectados en todo el mundo 2012-2020 (en miles de millones). Fuente: [28]

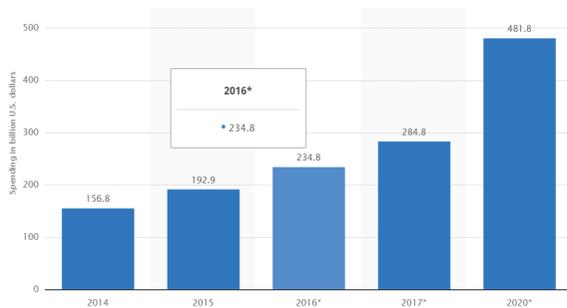
<sup>7</sup> The World Economic Forum, <http://www.weforum.org/>

A continuación se muestra estadísticas sobre la base de instalación del Internet de las Cosas por categorías entre 2013 y 2020. Se estima que 3,5 millones de unidades estarán en uso en la industria del automóvil en 2020.



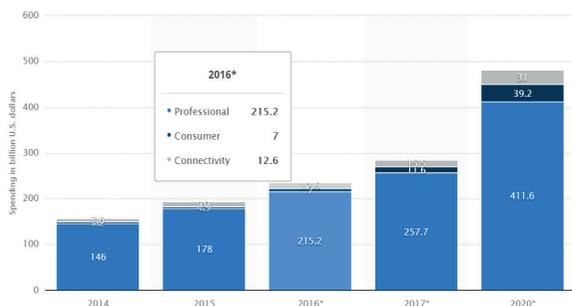
Gráfica 5. Número de dispositivos conectados en todo el mundo 2012-2020 (en miles de millones). Fuente: [29]

La gráfica siguiente muestra el gasto en servicio IoT en todo el mundo desde 2014 a 2017 y en 2020. En 2014, el gasto en servicios de IoT ascendió a 156,8 millones de dólares.



Gráfica 6. Número de dispositivos conectados en todo el mundo 2012-2020 (en miles de millones). Fuente: [30]

La siguiente gráfica muestra estadísticas del Internet de las cosas en el gasto servicios por categoría en todo el mundo desde 2014 a 2017 y en 2020. En 2014, el gasto de servicios de la IoT ascendió a 3,2 mil millones de dólares estadounidenses en el sector de consumo.



Gráfica 7. Número de dispositivos conectados en todo el mundo 2012-2020 (en miles de millones). Fuente: [31]

Gartner, Inc., muestra unas cifras (en millones de dólares) en cuanto a la previsión del gasto en todo el mundo sobre seguridad en el IoT, el mercado de los productos de seguridad del IoT es actualmente pequeña pero está creciendo a medida que los consumidores y las empresas empiezan a utilizar los dispositivos conectados en números cada vez mayores (Gartner, 2016).

Tabla 1. Previsión del gasto en todo el mundo sobre seguridad en el IoT. Fuente: [32]

Año	2014	2015	2016	2017	2018
Gasto (en millones de dólares)	231,86	281,54	348,32	433,95	547,20

El mercado de los productos de seguridad de la IoT depende de la adopción dada en IoT por los sectores industriales y de los consumidores. Se prevee que el punto final del gasto esté dominado por los vehículos conectados, así como otras máquinas complejas y vehículos, tales como camiones pesados, aviones comerciales, y la agricultura y equipos de construcción, según las previsiones de Gartner.

Tabla 2. Unidades que se han instalado por categoría en millones de unidades. Fuente: [33]

Category	2014	2015	2016	2020
Consumer	2,277	3,023	4,024	13,509
Business: Cross-Industry	632	815	1,092	4,408
Business: Vertical-Specific	898	1,065	1,276	2,880
<b>Grand Total</b>	<b>3,807</b>	<b>4,902</b>	<b>6,392</b>	<b>20,797</b>

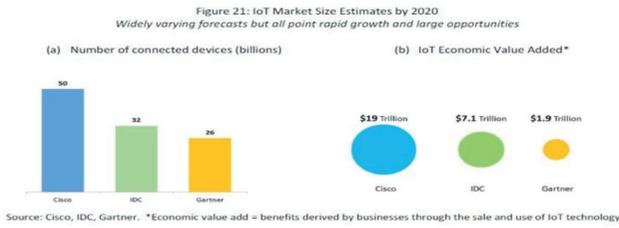
Así mismo, Gartner estima que 4 millones de cosas conectadas estarán en uso en el sector de consumo en 2016, y llegará a 13,5 mil millones de en 2020 (véase tabla 2).

En términos del gasto en hardware, las aplicaciones de consumo ascenderán a \$546 millones en 2016, mientras que el uso de las cosas conectadas en las empresa impulsará \$868 mil millones en 2016 (ver Tabla 3).

Tabla 3. Punto final de gastos por categoría en miles de millones de dólares. Fuente: [33]

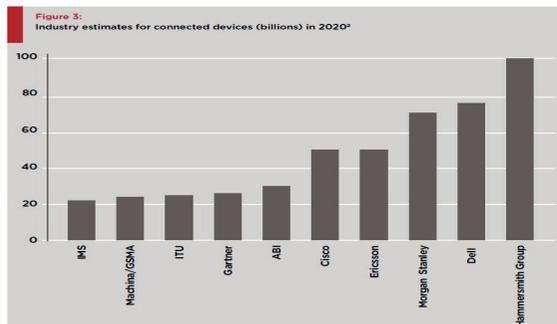
Category	2014	2015	2016	2020
Consumer	257	416	546	1,534
Business: Cross-Industry	115	155	201	566
Business: Vertical-Specific	567	612	667	911
<b>Grand Total</b>	<b>939</b>	<b>1,183</b>	<b>1,414</b>	<b>3,010</b>

Y ya en cuanto a las estimaciones y crecimiento del tamaño del mercado de la IoT para el año 2020, Cisco, IDC y Gartner, realizan la siguiente previsión:



Gráfica 8. Estimaciones del tamaño del mercado de la IO para el año 2020. Fuente: [34]

En cuanto a las estimaciones dadas por la industria en relación a los dispositivos conectados para el año 2020,



Gráfica 9. Estimaciones de la industria con dispositivos conectados para el año 2020 (en billones). Fuente: [35]

### Implementando soluciones IoT en los sistemas de transporte inteligente

Es imposible prever todas las posibles aplicaciones de IoT que tienen en cuenta el desarrollo de la tecnología y las diversas necesidades de los usuarios potenciales. Áreas como los Smart Cities, Smart Energy and the Smart Grid, Smart Mobility and Transport, Smart Home, Smart Buildings and Infraestructure, Smart Factory and Smart Manufacturing, Smart Health, Food and Water Tracking and Security, Participatory Sensing, Smart Logistic and Retail [16].

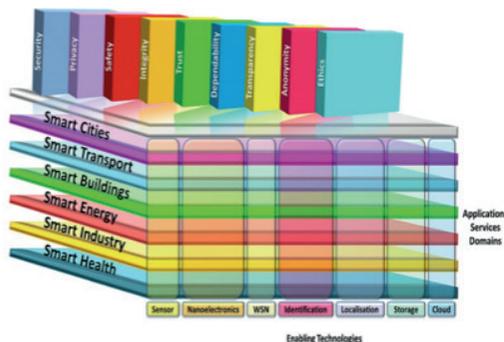


Gráfico 10. Posibles áreas de aplicación del IoT. Fuente: [16]

Lo que sí es seguro, es que el Internet de las Cosas (IoT) presenta enormes oportunidades para las empresas y los consumidores, especialmente en las áreas de cuidado de la salud, almacenaje, transporte y logística. Junto con esta amplia adopción, los desarrolladores se enfrentan a nuevos retos para asegurar que las aplicaciones del IoT sean suficientemente seguras, porque estas aplicaciones manejan muchos datos sensibles. Las soluciones IoT implican a una compleja red de dispositivos inteligentes, como vehículos, máquinas, edificios o electrodomésticos del hogar, que tienen incorporados electrónica, software, sensores y conectividad de red, lo que habilita que esas “cosas” recopilen e intercambien datos [36].

La distribución, el transporte, la logística, la logística inversa, servicio de campo, etc., son áreas en las que el acoplamiento de la información y las “cosas” puede crear nuevos procesos de negocio o puede hacer que los existentes altamente eficiente y más rentable [16].

En cuanto al área de transporte, ya son varias y amplias las soluciones que se vienen desarrollando en cuanto al uso de IoT para su gestión.

Ejemplo de ello es el que viene desarrollando un equipo de investigadores de la Universidad de Arizona para mejorar la comunicación entre la infraestructura de avenidas y calles y los automóviles [37] (véase gráfico 11). La investigación utiliza algoritmos de optimización con dispositivos inalámbricos y controladores de semáforos para gestionar las señales de tráfico en la ciudad estadounidense de Phoenix.



Gráfico 11. Sistema para facilitar las comunicaciones entre la infraestructura callejera y los vehículos y de vehículo a vehículo. Fuente: [37]

Desde el equipo de investigación sostienen que los conductores se comunican de forma inalámbrica vía teléfonos inteligentes con personas de todo el mundo, pero sus automóviles no pueden comunicarse con autos cercanos.

Este estudio muestra que por medio de algoritmos, el sistema analizaba señales de prioridad para vehículos que se aproximaban: de pasajeros, de tránsito, de emergencia y comerciales. Por ejemplo, en un cruce, el camino fue despejado para un camión de bomberos que consiguió primero luz verde del semáforo.

Otro caso de implementación es el del Sistema integrado de transporte de la ciudad de Goiania. Goiania es la primera ciudad de Brasil - y América Latina - en seleccionar la solución ITS4Mobility de Volvo, combinado con el liderazgo de Ericsson en servicios y sistemas integración para conectar industrias, apoya la operación diaria de la Red Metropolitana de Transporte Colectivo (Rede Metropolitana de Transportes Coletivos - RMTC) de Goiânia. El RMTC consta de 268 líneas de autobuses, con un modelo de integración física y tarifaria integral entre ellos, estructurado a través de 19 terminales y la integración de cientos de puntos de conexión electrónica (RMTCGoiania, 2016). Según el contrato, Ericsson es el responsable de la personalización de la solución para las necesidades específicas de Goiânia, así como soporte y mantenimiento [38].

Otro gran ejemplo es de gestión de flotas de buses usando GPS (posicionamiento) para la localización automática de los vehículos empezando a gran en algunas, como es el caso de Shangai y Beijing. Todo los autobuses están dotados de GPS y todas las compañías de buses tienen sistemas de gestión de la flota [22].

La ciudad sueca de Estocolmo ha implantado varias de las principales prácticas globales. Se ha propuesto convertirse en la capital más accesible del mundo y considera que su sistema de transporte es esencial para conseguirlo. Conocida por su impuesto antiatacos, que redujo el uso del automóvil un 25% y las emisiones del tráfico en un 14%, es importante señalar, sin embargo, que Estocolmo ha creado este impuesto como parte de un plan de transporte holístico que también ha incrementado los servicios de autobús y los aparcamientos disuasorios. Además, dispone de un sistema de billetes integrado que enlaza los principales modos de transporte [39].

El cuanto al caso de Bogotá, el Sistema Inteligente de Transporte (SIT) lo constituyen un conjunto de herramientas tecnológicas que sirven para recoger, almacenar y proveer información del tráfico, el cual es monitoreado en tiempo real tal y como lo expresa la misma Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá. Así entonces, se prevé que este ejercicio permita generar alternativas para mejorar la

movilidad y asegurar un transporte conveniente y seguro para la ciudad. El sistema va aprendiendo de sí mismo, acumulando los datos que procesa a diario, detectando y emitiendo alarmas según la información que va recopilando. Este sistema se ha venido implementando gradualmente, comenzando por el Centro de Gestión del Tráfico (CGT), semaforización inteligente y comparendos electrónicos, los cuales ya entraron en funcionamiento y están expandiéndose en toda la ciudad.

Así mismo están en proceso de implementación, y serán utilizados desde el Centro de Gestión del Tráfico, los paneles de mensajería variable en luces LED, que tendrán la función de entregar información en tiempo real sobre la situación de las vías para que los conductores puedan cambiar a tiempo sus rutas sin afectar el tráfico de la ciudad.

En la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) se encuentra el Centro de Gestión del Tráfico, lugar donde se realiza medición, monitoreo y análisis constante de la ciudad. Allí también se integran los centros de control de la Policía Metropolitana de Tránsito, grupo guía, detección electrónica, paneles variables y semaforización. Con el SIT, la ciudad contará con sensores wifi-bluetooth, sensores de conteo de vehículos, clasificación por tamaño y determinación de la velocidad, sensores de bicicleta ubicados en lugares de mayor tráfico de este medio de transporte y el sistema de cámaras CCTV para monitoreo, ubicadas en intersecciones de la ciudad.

Los vehículos conectados pueden ofrecer grandes ventajas para mejorar los problemas de eficacia del sector de transporte por carretera, y ya no hablamos de una tendencia de futuro sino de una realidad. Por ejemplo, la limitación de las horas de trabajo permitidas por ley, es uno de los principales escollos a los que se enfrentan los conductores en carretera. Para ello, se han desarrollado aplicaciones para controlar sus horas y planificar sus rutas, ofreciéndoles información sobre sus tiempos de conducción y los tiempos de descanso necesarios, lo que les permite optimizar sus rutas [40].

### Futuro del IoT

Lo que está claro es que, más tarde o más temprano, el Internet de las Cosas va a cambiar nuestro mundo, revolucionar la forma en que entendemos la comunicación entre objetos y modificar el funcionamiento de las ciudades (sobre todo en lo referido a los servicios como el transporte). No en vano, Internet of things (IoT) se refiere a la interconexión digital de todo tipo de objetos cotidianos a través de la Red [41].

La siguiente gráfica muestra una predicción dada por BI Intelligence para el internet de las cosas y su expansión en el mercado hasta el año 2019.

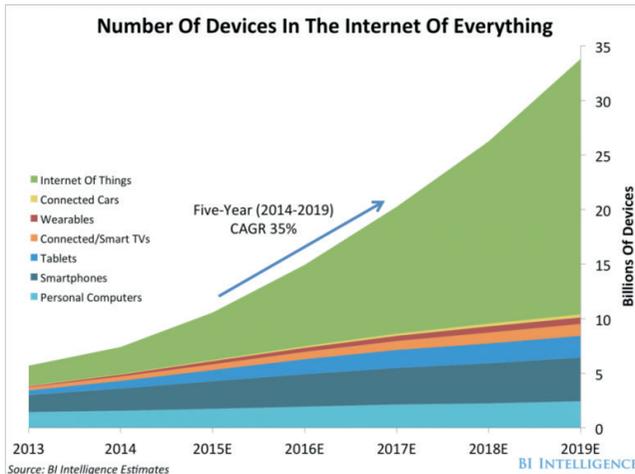


Gráfico 12. Predicción IoT. Fuente: [35].

El IoT puede ayudar a los consumidores a alcanzar objetivos mejorando en gran medida su capacidad de toma de decisiones a través de la inteligencia aumentada de la IoT. Para las empresas, el Internet de las Cosas, ayudará a las empresas a conseguir una mayor optimización de procesos y la eficiencia mediante la recopilación y presentación de informes sobre los datos recogidos desde el entorno empresarial. Cada vez más empresas están añadiendo sensores a personas, lugares, procesos y productos para recopilar y analizar información para tomar mejores decisiones y aumentar la transparencia [42].

En una encuesta realizada por IoTZone en asociación con General Electric - GE Digital a 19 ejecutivos involucrados en diferentes empresas de la IoT sobre "What's the future for IoT?". Sus respuestas predicen un futuro de los dispositivos conectados por completo y su acceso en tiempo real a prácticamente cualquier dato imaginable para una completa toma de decisión [43], al igual que:

- La capacidad de agregar y analizar datos dispares.
- Mayor seguridad.
- El surgimiento de una vasta red de sensores para trabajar en conjunto, con una mayor estandarización de plataformas.
- La omnipresencia.
- Acceso global y por la nube.
- Mayor número de dispositivos conectados entre

sí a través de herramientas de gestión o APT.

- Mayor interacción persona-ordenador. Más comprensible, mejora la humanidad.
- Ecosistema unificado de todos los dispositivos en los que las empresas se comunican entre sí.
- Evolución de los dispositivos personales - gafas, relojes, dispositivos personales, dispositivos para el hogar. El Hardware conectará todo.
- Mayor y mejor capacidad para usar datos desde los dispositivos inteligentes, para toma de decisiones.
- Creación de un mundo más inteligente. Empresas abiertas a otras empresas, proveedores y vendedores para promover el intercambio de información, la automatización y mejores prácticas.
- El rehacer todo - la asistencia sanitaria, los coches, las ciudades, los hogares, la industria.
- Patrones de aprendizaje ajustadas automáticamente al tiempo y a la gente, para ver nuevas posibilidades.
- Aumentará la capacidad de decidir en lo que está mal y la capacidad en el diagnóstico de una solución. Vamos a pasar de la detección de anomalías a las correcciones. Proporcionando mejores datos operativos a la nube nos ayudará a mejorar la optimización operativa.
- La próxima frontera estará más centrada en el cliente.

## Conclusiones

El Internet de las cosas sin duda será visto como la próxima revolución tecnológica, en donde los dispositivos serán capaces de comunicarse de manera directamente, con una mayor coordinación de sus actividades y un aumento significativo de su eficiencia y productividad, con significativos ahorros de tiempo y energía. Ciertamente la creciente y activa penetración en el mercado de esta tecnología está cambiando la forma de actuar de los consumidores y el modo en que se desarrollan las empresas, lo cual conlleva a que estas empiecen a pensar y madurar nuevos proyectos, que les permita de forma muy rápida adaptarse a las múltiples posibilidades de interconexión entre cosas, entre ellos y con nosotros.

En el caso del transporte inteligente se debe procurar por ir más allá que implantar e implementar una

tecnología que con diferencias soporte y permita generar alternativas para mejorar la movilidad y asegurar un transporte conveniente y seguro para las ciudades y sus ciudadanos. Actualmente muchas de las principales ciudades del mundo utilizan estas tecnologías para que sus sistemas de transporte sean integrados y ofrezcan mejores servicios de transporte, como máximo valor al usuario, con sistemas de transporte más integrados, con un disfrute de servicios ágiles y eficaces, mejor coordinados, haciendo de las ciudades sitios más agradables a sus ciudadanos, más competitivas y sostenibles.

Con tecnologías como estas de tan alto nivel, las ciudades del mundo tendrán y podrán participar en una profunda exploración en cuanto a su movilidad, evidenciando y solucionando a futuro, muchos de aquellos problemas de movilidad que presentan actualmente. Con gran acierto, las decisiones que se tomen en adelante tendrán mayor significado y mayor certeza, que aquellas tomadas sin el soporte y solución facilitada desde el Internet de las cosas en los Sistema Inteligente de Transporte.

## Referencias

- [1] Coetzee, L. y. E. J. (2011). The Internet of Things - promise for the future? An introduction. IST-Africa Conference Proceedings, p. 1.
- [2] Grupomontevideo. (2016). "EVI: Internet de las Cosas (IoT)". Asociación de Universidades, grupo Montevideo. Consultado el 12 de Agosto de 2016, en <http://grupomontevideo.org/>.
- [3] Sharma, A. (2015). "Web Realising the benefits of mobile IoT solutions. Telecom, Medios de Comunicación, Tecnología y Estrategia". India: pwc.in. Consultado el 12 de Agosto de 2016, en <http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content/uploads/2015/05/Web-Realising-the-benefits-of-mobile-IoT-solutions-ES.pdf>.
- [4] IBSG. (2011). Internet Business Solutions Group, Cisco IBSG. Consultado el 12 de agosto, en [http://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf).
- [5] Iglesias, A. (2015). El Internet de las Cosas moverá más de un billón de euros en 2019. Publicación digital TICbeat. España: editorial Axel Springer. Consultado el 17 de agosto de 2016, en <http://www.ticbeat.com/>.
- [6] Centum. (2016). La importancia del IoT para la Smart City. <http://www.centum.com/la-importancia-del-iot-para-la-smart-city/>.
- [7] Fundación Telefónica. (2016). Internet industrial máquinas inteligentes en un mundo de sensores. (2016). Madrid: Editorial Ariel. Consultado el 15 de agosto de 2016, en <http://www19.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2016/16206.pdf>.
- [8] FQ Ingeniería Electrónica, S.A. (2015). Introducción al Internet de las cosas (IoT) y RFID. Consultado el 18 de agosto de 2016, en <http://www.fqingenieria.com/es/conocimiento/introduccion-al-internet-de-las-cosas-iot-y-rfid-72>.
- [9] Fundación EOI (2015). Las tecnologías IoT dentro de la industria conectada 4.0. Madrid. Consultado el 13 de agosto de 2016, en <http://a.eoi.es/industria4>.
- [10] Evans, D. (2015). Internet de las cosas Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Consultado el 12 de Agosto de 2016, en <http://www.cisco.com/>.
- [11] <http://www.cisco.com/>, 2011
- [12] DuBravac, S., Ratti, C. (2015). Internet de las Cosas: Evolución o Revolución? Consumer Technology Association. USA. Consultado el 14 de agosto de 2016, en [www.aig.com/](http://www.aig.com/).
- [13] Robles, T., et.al., (2015). Informe de Vigilancia Tecnológica Madri+d, "Internet del Futuro: visión y tecnologías implicadas". Madrid: Fundación madri+d para el Conocimiento. Consultado el 14 de agosto de 2016, en [www.madrimas.org/](http://www.madrimas.org/).
- [14] Salvatierra, A. (2012). El Internet de las Cosas y los nuevos riesgos para la privacidad.
- [15] Ruiz, J. (2015). "Simulación de rutas en sistemas integrados de transporte público mediante computación paralela en entornos IoT". Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Doctorado en Ingeniería Telemática.
- [17] Fundación Telefónica. (2011). Smart Cities: un primer paso hacia la internet de las cosas. Madrid: Ariel S.A.
- [18] CINTEL. (2010). ITS-Intelligent Transportation Systems en Colombia. Bogota.
- [19] [fomento.gob.es](http://fomento.gob.es), 2016
- [20] Yan, X., et.al. (2011). Research and Development of Intelligent Transportation Systems. International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science, pp. 322-327.
- [21] Bogotá.gov.co. (2016). ¿Qué le aporta el Sistema Inteligente de Transporte (SIT) a la movilidad en Bogotá? Consultado el 20 de octubre de 2016, en <http://www.bogota.gov.co/articulo/temas-de-ciudad/movilidad/sistema-inteligente-de-transporte-SIT>.
- [22] MFCE - Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. (2006). Sistemas de transporte inteligente. Módulo 4e-transporte sostenible. Alemania. Consultado el 20 de octubre de 2016, en [http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A\\_Sourcebook/SB4\\_Vehicles-and-Fuels/GIZ\\_SUTP-SB4e\\_Intelligent-Transport-Systems\\_ES.pdf](http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A_Sourcebook/SB4_Vehicles-and-Fuels/GIZ_SUTP-SB4e_Intelligent-Transport-Systems_ES.pdf).
- [23] CITOP – Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas e Ingenieros Civiles. (2008). Los sistemas inteligentes de transporte, pasado reciente y futuro. Consultado el 20 de octubre de 2016, en [http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra353\\_08.pdf](http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra353_08.pdf).
- [24] Ardila, A., (2005). La olla de presión del transporte público. Revista de Ingeniería Universidad de los Andes, pp. 54-67.
- [25] [Elespectador.com](http://Elespectador.com), 2016
- [26] Heller, S. (2016). 3 Companies Poised to Dominate the

Internet of Things. The Motley Fool. Consultado el 17 de agosto de 2016, en <http://www.fool.com/investing/2016/06/28/3-companies-poised-to-dominate-the-internet-of-thi.aspx>.

[27] Abramovich, G. (2015) 15 Mind-Blowing Stats About The Internet Of Things. Cmo.com. Consultado el 17 de agosto de 2016, en [http://scl.io/MAiW8sZa#gs.jK\\_mhMo](http://scl.io/MAiW8sZa#gs.jK_mhMo).

[28] Statista-a. (2016). Internet of Things (IoT): number of connected devices worldwide from 2012 to 2020 (in billions). The Statistics Portal. Consultado el 17 de agosto de 2016, en <http://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>.

[29] Statista-b. (2016). The Internet of Things (IoT), units installed base by category from 2013 to 2020 (in millions). The Statistics Portal. Consultado el 17 de agosto de 2016, en <http://www.statista.com/statistics/370350/internet-of-things-installed-base-by-category/>.

[30] Statista-c. (2016). Internet of Things services spending worldwide from 2014 to 2017 and in 2020 (in billion U.S. dollars). The Statistics Portal. Consultado el 17 de agosto de 2016, en <http://www.statista.com/statistics/520692/iot-services-spending-worldwide/>.

[31] Statista-d. (2016). Internet of Things services spending worldwide from 2014 to 2017 and in 2020 (in billion U.S. dollars), by category. The Statistics Portal. Consultado el 17 de agosto de 2016, en <http://www.statista.com/statistics/520673/iot-services-spending-by-category-worldwide/>.

[32] Gartner, Inc. (2016). Gartner Says Worldwide IoT Security Spending to Reach \$348 Million in 2016. Consultado el 17 de agosto de 2016, en <http://www.gartner.com/newsroom/id/3291817>.

[33] Gartner (2015). Gartner Says 6.4 Billion Connected “Things” Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015. Consultado el 17 de agosto de 2016, en <http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>.

[34] Woodsidecap - Woodside Capital Partners. (2015). The Internet of Things: “Smart” Products Demand a Smart Strategy. Consultado el 13 de agosto 2016, en [http://www.woodsidecap.com/wp-content/uploads/2015/03/WCP-IOT-M\\_and\\_A-REPORT-2015-3.pdf](http://www.woodsidecap.com/wp-content/uploads/2015/03/WCP-IOT-M_and_A-REPORT-2015-3.pdf)

[35] UK Government. (2014) Internet of things: making the most of the second digital revolution, consultado el 14 de agosto de 2016, en <https://www.gov.uk/government/publications/internet-of-things-blackett-review>.

[36] IBM developerWorks. (2016). Protegiendo dispositivos y gateways IoT. Consultado el 14 de octubre de 2016, e <http://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-trs-secure-iot-solutions1/index.html>.

[37] TyNIoT - TyN Internet of Things. (2016). Investigan uso de IoT para gestionar el tránsito. Consultado el 14 de octubre de 2016, en <http://www.tyniot.com/investigan-uso-de-iot-para-gestionar-el-transito/>.

[38] TyNIoT - TyN Internet of Things. (2015). Goiania mejora su sistema de transporte inteligente implementando soluciones IoT. <http://www.tyniot.com/goiania-mejora-su-sistema-de-transporte-inteligente-implementando-soluciones-iot/>.

[39] Houghton, J. (2009). Transporte inteligente Cómo mejorar

la movilidad en las ciudades. IBM Institute for Business Value. Consultado el 20 de octubre de 2016, en <http://www-05.ibm.com/services/es/bcs/pdf/transporte-inteligente-como-mejorar-la-movilidad-en-las-ciudades.pdf>.

[40] Iglesias, A. (2015a). Cómo el Internet de las Cosas revolucionará la forma de entender el transporte por carretera. Consultado el 14 de agosto de 20156, en <http://www.ticbeat.com/>.

[41] Condés, O. (2016). ¿Qué es el Internet de las cosas? Publicación digital TICbeat. España: editorial Axel Springer. Consultado el 17 de agosto de 2016, en <http://www.ticbeat.com/>.

[42] PricewaterhouseCoopers. (2014). Sensing the future of the Internet of Things. Consultado el 12 de octubre de 2016, en <https://www.pwc.com/us/en/increasing-it-effectiveness/assets/future-of-the-internet-of-things.pdf>.

[43] Smith, T. (2015). The Future of IoT. Consultado el 20 de octubre de 2016, en <https://dzone.com/articles/19-predictions-for-the-future-in-iot>.

[44] Liñán Colina, A., Vives, A., Bagula, A., Zennaro M., Pietrosemoli, E. (2015). Internet de las Cosas. Editado por Zennaro, M. y Pietrosemoli, E. Consultado el 12 de agosto de 16, en <http://wireless.ictp.it/Papers/InternetdelasCosas.pdf>.

## De los autores

**Sandra Yanet Velazco Flórez:** Ingeniera Civil, Universidad Francisco de Paula Santander; especialista en SIG, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; doctora en Informática, programa SIG, Universidad Pontificia de Salamanca, España; profesional especializado Decanatura Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Contacto: [sandra\\_velazcof@yahoo.com](mailto:sandra_velazcof@yahoo.com)

**Roberto Ferro Escobar:** Ingeniero Electrónico – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Doctor en Informática – Universidad Pontificia de Salamanca – País. Decano Facultad de Ingeniería – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – [decano\\_ing@udistrital.edu.co](mailto:decano_ing@udistrital.edu.co) y [robertoferroes@gmail.com](mailto:robertoferroes@gmail.com).

**Katherin Cuartas:** Ingeniería Industrial – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Estudiante de especialización en gestión de proyectos en ingeniería – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. C.P.S Profesional Doctorado en Ingeniería, encargada de acreditación, investigación y publicación del Programa – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – [kacuartasc@udistrital.edu.co](mailto:kacuartasc@udistrital.edu.co), y [kathecc91@gmail.com](mailto:kathecc91@gmail.com).

# Implementación de un dispositivo basado en Bluetooth y RFID para guía y posicionamiento en interiores de personas con incapacidad visual usando una APP en su dispositivo móvil.

Arnaldo Andrés González Gómez<sup>1</sup>  
Luis Eduardo Pallares M.<sup>2</sup>  
Roberto Ferro Escobar<sup>3</sup>

## Resumen

Este artículo, se realiza con el fin de presentar los resultados obtenidos a la aplicación de una solución viable a un problema de ubicación dentro de recintos cerrados, para personas discapacitadas de forma visual, (parcial o totalmente).

Se presenta el diseño e implementación de una aplicación para dispositivos Android conectada de forma inalámbrica a través de Bluetooth con un bastón (prototipo) el cual permite la transmisión de información capturada por medio de la tecnología de Radio Frecuencia de Identificación RFID y una cinta magnética que se utilizó como guía, dicha información será presentada en forma de voz sintetizada al usuario (invidente); tecnología que está presente en gran parte de los dispositivos móviles, lo que facilita la implementación de diversas aplicaciones que conllevan a optimizar tareas de la vida cotidiana y mejorar su calidad de vida. En este caso se utilizará la tecnología RFID para ubicación de los sitios de interés, y la cinta magnética como guía para desplazarse dentro de un recinto cerrado, para esto se implementó la lectura de los Tags RFID (uso de sensores).

Se utilizó un microcontrolador que procesa la información de los sensores y la envía utilizando la comunicación inalámbrica Bluetooth a un dispositivo móvil con una aplicación Android especialmente diseñada que utiliza las bondades de la programación en lenguaje java (JDK) facilitando la compatibilidad con diferentes sistemas operativos, aprovechando la herramienta del texto al habla para que los usuarios discapacitados puedan entender y comprender el contenido y las instrucciones de la misma.

*Index Terms*— RFID, Bluetooth, tarjeta de desarrollo, enlace, JDK, SPI.

## Introduction

Dentro del ámbito social existen necesidades que deben ser atendidas, ya sea por recursos humanos o por herramientas tecnológicas que han sido desarrolladas a través de los años utilizando las técnicas más avanzadas en pro de una sociedad en igualdad de condiciones.

1 arnaldogonzalez@gmail.com  
2 lepallaresn@gmail.com  
3 robertoferroes@gmail.com

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS). La discapacidad es cualquier restricción o impedimento de la capacidad de realizar una actividad, en la forma o dentro de los márgenes que se considera normal para la sociedad. Se caracteriza por excesos o insuficiencias en el desempeño de la actividad rutinaria normal, las cuales pueden ser temporales o permanentes. En el mundo hay aproximadamente doscientos ochenta y cinco millones de personas con discapacidad visual, de las cuales treinta y nueve millones son ciegas y doscientos cuarenta y seis millones presentan baja visión [32] y en vista de estos datos es común ver que las personas con este tipo de discapacidad, utilicen ayudas de algún instrumento tecnológico para facilitar las actividades diarias.

Dentro de este proyecto, se contempla una ayuda tecnológica que le permite a una persona con discapacidad visual mejorar su orientación y movilidad dentro de un recinto cerrado, citado lo anterior, se implementó un dispositivo tipo bastón que lee una ruta compuesta por líneas magnéticas predeterminadas, adicional a esto, un lector de RFID que le permite leer etiquetas estratégicamente ubicadas en el entorno lo que le permite a la persona con discapacidad visual identificar su entorno con más seguridad y autonomía, para que pueda disfrutar de bienes y servicios, así como de los objetos, herramientas y dispositivos para ser comprensibles, utilizables y aplicables por todas las personas que lleven consigo dicha discapacidad de forma más natural [31].

Partiendo de la tecnología existente y de las aplicaciones móviles, este tipo de desarrollos contribuyen a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual, finalmente se logra optimizar las prestaciones de estas tecnologías para que unidas se conviertan en una herramienta verdaderamente útil para este tipo de población.



Figura 1. Desplazamiento por la guía utilizando la cinta magnética (Fuente autores 2016).

## Metodología

### A. Investigación

El proyecto fue realizado con el fin de proponer una solución viable para un grupo de personas en condición de discapacidad visual (tanto parcial como total) para ello, se investigó la autonomía personal, que es el principal objetivo del desarrollo del prototipo; este tema se filtró de una serie de autores y de grupos de enseñanza que abordan este escenario. De los cuales fueron escogidos un autor y un grupo de enseñanza [1].

Para contextualizar sobre el caso a solucionar; El cuerpo humano está diseñado para interactuar con su entorno, para lo cual extrae información por medio de sus diferentes sentidos (audio, tacto, visión, gusto y olfato) esto le ayuda a tomar decisiones para una mejor respuesta según sus necesidades (desplazarse, comer, actuar etc.). Todos sus sentidos son muy importantes, pero del que mejor y mayor extrae información de su entorno, es el de la visión [2].

El sentido de la visión está asegurado por un órgano receptor, el ojo, este recibe las impresiones luminosas y las transmite al cerebro por las vías ópticas. Los ojos son sensibles a las ondas de radiación electromagnética de longitud específica.

Estas ondas se registran como la sensación de la luz. Cuando la luz penetra en el ojo, pasa a través de la córnea, la pupila y el cristalino y llega por ultimo a la retina donde la energía electromagnética de la luz se convierte en impulsos nerviosos que pueden ser utilizados por el cerebro; los impulsos abandonan el ojo a través del nervio óptico.

El nervio óptico transmite los impulsos eléctricos generados al cerebro donde son procesados por la corteza visual.

Uno de los aprendizajes más importante es la autonomía personal, dado que, con la pérdida de las habilidades para recoger y almacenar información del entorno, conlleva a dificultades para desplazarse y depender de sí mismo. El atraso en el desarrollo cognitivo relacionado con los aspectos espaciales y figurativos también es otro efecto. Para los cuales se desarrollan programas para estimular y adquirir ciertas habilidades como lo son:

- La orientación capacidad de comprensión del ambiente.

- La movilidad o capacidad para desplazarse con independencia.
- Habilidades de la vida diaria, o tareas del cuidado personal cuidado del hogar y de relaciones sociales.

Para lograr los objetivos anteriores es necesario contar primero con ciertas capacidades mínimas de desarrollo como lo son el psicomotor, perceptivo cognitivo y habilidades de comunicación.

El ser humano cuenta con sistema perceptivo como lo es el oído, siendo importante dado que gracias a este se logra el lenguaje y la comunicación. La audición permite a las personas con ceguera o discapacidad visual una cierta anticipación perceptiva, sin que se lleve a cabo un contacto físico con el estímulo, significa esto que con el oído se logra apreciar a larga distancia, como con la vista, la comprensión del entorno y sus características. Así mismo, sirve de defensa ante un posible peligro [2].

En otras palabras, cuando se cuenta con la percepción auditiva, esta suministra información para efectuar las actividades del diario vivir, tales como la orientación para lo cual se utiliza los sonidos como referencia, para los desplazamientos, para la adquisición de conceptos y para la comprensión de las características del medio en el que se encuentra.

Explicado lo anterior, se deben desarrollar el procesamiento de la información auditiva, para personas con ceguera, mediante lo siguiente:

Atención: establece que hay un sonido.

**Identificación:** reconoce qué sonido está escuchando y cómo lo puede utilizar.

**Diferencia:** se debe lograr distinguir un sonido de otro e identificarlo.

**Localización:** identifica de dónde procede un sonido y lo sitúa en su contexto.

**Seguimiento:** puede establecer la trayectoria de un sonido móvil y se traslada hacia la dirección del sonido.

Detección de impedimentos o ecolocación: comprueba la presencia de un obstáculo por razón del sonido eco, este punto es de gran ayuda utilizar aplausos o pitar para dejar percibir la proximidad de la pared. Establecer la sombra del sonido, estar al tanto a dónde hay un obstáculo al cambiar el ruido ambiental. Como resultado de lo anterior, es beneficioso dar a conocer al alumno todos los

estímulos auditivos y de esta forma promover la relación de la información recibida con el resto de los sentidos, en cualquier contexto, como lo son en el entorno familiar, en la escuela y en otros espacios habituales, para lograr que la percepción auditiva sea una forma de orientación a través de los sonidos [2].

## Diseño del prototipo y la interfaz de usuario para la App

### Aplicación Android

El objetivo es que una persona invidente pueda desplazarse en el séptimo piso en la facultad de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en un área que corresponde a 1000 metros cuadrados, adecuado a los laboratorios de sistemas, laboratorio de control, laboratorio de electrónica industrial, grupo GITEM grupo LAMIC y baños para hombres con un pasillo en forma de L donde el piso cuenta con 3 abscesos, el ascensor y dos escaleras, una en forma de caracol y la otra en forma de U.

La persona invidente requiere conocer la respectiva ubicación de cada laboratorio y de los diferentes grupos de investigación, por lo cual se tiene que desplazar por el pasillo en forma de L y realizar un recorrido de 50 metros.

Con el fin de lograr lo anterior se diseñó e implemento una aplicación móvil que interactúa con un dispositivo tipo bastón adecuado con diferentes sensores que le permiten seguir un trazado especialmente diseñado para este propósito.

Se plantea que el dispositivo debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Toda la electrónica del prototipo debe estar contenido en un bastón que debe ser liviano y ergonómico para su manipulación.
- Realizar una conexión inalámbrica, por medio de Bluetooth entre la APP y la tarjeta de desarrollo que se encuentra en el bastón.
- Detectar de forma constante la línea magnética guía.
- Suministrar la información a la persona invidente por medio de texto a voz cuando se encuentre con un punto de información.

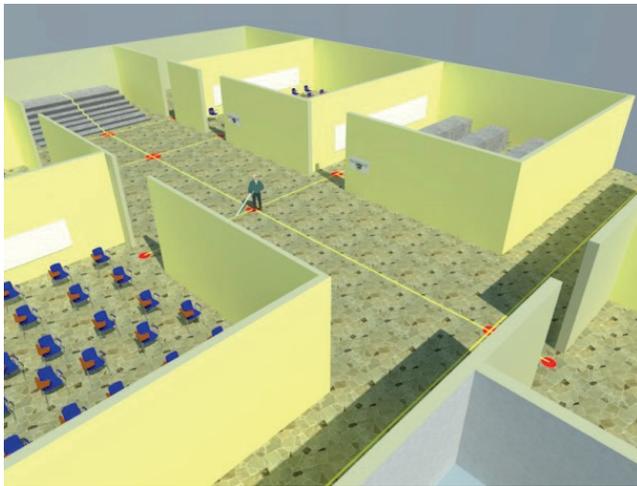


Figura 2. Puntos de información en rojo. (Fuente autores 2016).

**Desarrollo del código del APP para Android.**

El código fue desarrollado según los requerimientos de diseño del proyecto para las necesidades de información y comunicación entre el usuario (persona invidente) y el bastón, utilizando como intermediario el Smartphone, más específicamente la APP Android.

del Bluetooth en Android, así como los métodos inputStream y outputStream para la recepción y el envío de datos por medio de Bluetooth.

Ya con estas especificaciones de diseño, se procede a realizar un diagrama de flujo de la APP que cumpla con estos requerimientos funcionales (ver figura 4).

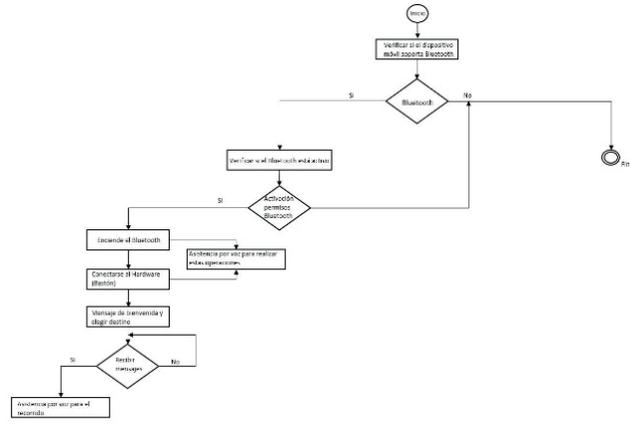


Figura 4. Diagrama de flujo del APP (Fuente autores 2016)

**C. Dispositivo (prototipo bastón)**

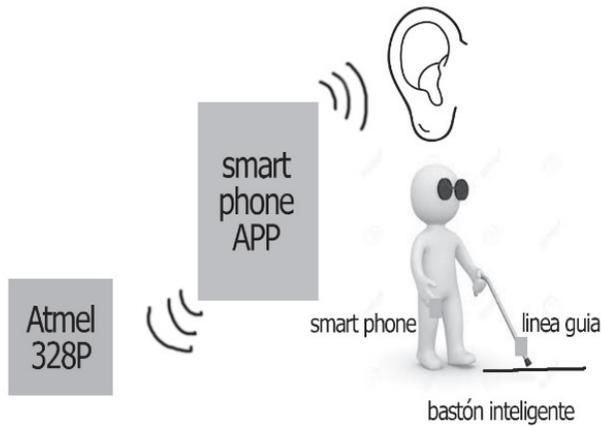


Figura 3. Requerimientos del APP (Fuente autores 2016).

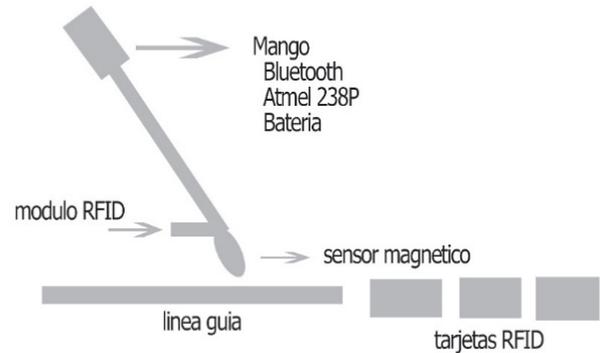


Figura 5. Ubicación del sensor en el bastón (Fuente autores 2016).

La comunicación de la APP con el usuario se hace de dos maneras diferentes, la primera es usando los toques en la pantalla, utilizando el TalkBack de Android, este asistente le anuncia por medio de voz lo que el usuario toca en la pantalla, y la segunda es la reproducción de sonidos con texto al habla, éste último se logra con los datos que el bastón percibe del medio donde se encuentra, para lo cual se apoya de un sintetizador de voz. La comunicación de la aplicación con el ATmega 328P (microcontrolador) se desarrolla por medio del módulo Bluetooth HC-05 la cual cuenta con una comunicación serial, que facilita su montaje y desarrollo, para esto tenemos que llamar los métodos mBluetoothAdapter que se encarga de todas las conexiones y gestiones

**Tarjeta de desarrollo**

Para cumplir con los requerimientos del sistema se escogió la tarjeta de desarrollo más pequeña y económica del mercado el Arduino nano V3.0 con el microcontrolador integrado ATmega 328P.

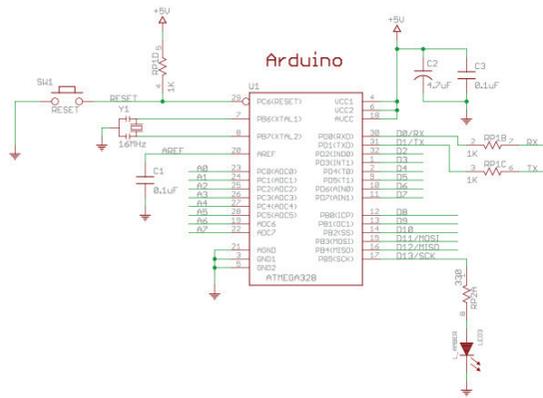


Figura 6. Esquemático del ATmega 328P (Fuente imagen tomada de Datasheet que proporciona el fabricante).

### Módulo RFID

Este módulo permite leer la información de las etiquetas RFID y las envía al microcontrolador ATmega 328P, por medio de la comunicación SPI para que después, sea transmitida por medio del Bluetooth al Smartphone. Dicha información está relacionada con la descripción del lugar exacto donde se encuentra ubicado el usuario en ese momento, dentro de la zona de prueba piloto (grupo de investigación GITEM y LAMIC).

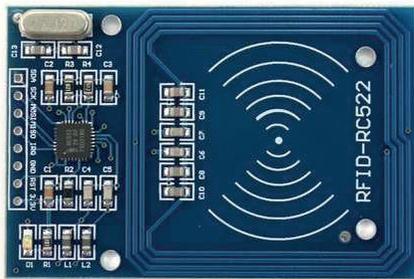


Figura 7. Módulo RFID-RC522 (Fuente imagen tomada de la página del fabricante).

La información que se encuentra alojada en los Tag (etiquetas) viene codificada por medio de números hexadecimales, la cual llamamos ID, el microcontrolador asocia cada ID con un mensaje específico del entorno donde se encuentra y los envía a través de Bluetooth. Las etiquetas están dispuestas en cada punto de interés de información y a los cuales se llegará por medio de la guía magnética.

### Modulo Bluetooth

Este módulo permite la comunicación entre la tarjeta de desarrollo que integra el microcontrolador ATmega 328P y el Smartphone.

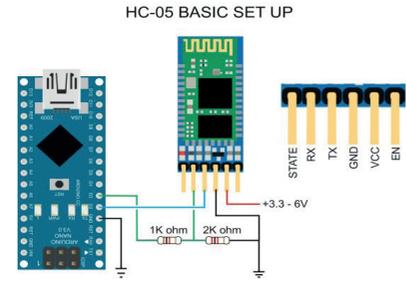


Figura 8. Conexión Modulo Bluetooth (Fuente imagen tomada de internet).

```

// Bluetooth module
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BT(10, 11);

void setup() {
  BT.begin(9600);
}

void loop() {
  if (BT.available()) {
    char inChar = BT.read();
    Serial.print(inChar);
  }
}
    
```

Figura 9. Manejo del Bluetooth en Android Studio utilizando el lenguaje JAVA (Fuente autores 2016).

El módulo de comunicación Bluetooth HC-05, es un componente que requiere para su correcto funcionamiento un voltaje de 3.3V, aunque existen unos que traen un circuito adicional que regula la tensión para poderlo conectar a 5V. Posee dos pines para la comunicación serial, estos pines son el TX y el RX, cuando se trabaja con comunicación serial estos pines van cruzados, es decir, el pin TX del módulo debe ir al pin RX del microcontrolador, de igual manera el pin RX del módulo debe ir al pin TX del microcontrolador. Este componente tiene dos pines de salida donde es posible conectar dos diodos led con el fin de indicar cuando el modulo se encuentra energizado y cuando se ha establecido una comunicación en este caso, cuando el módulo se conecta con el teléfono móvil.



### Sensor magnético

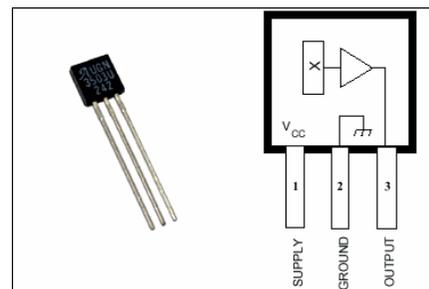


Figura 10. Sensor magnético analógico y digital (Fuente Datasheet del fabricante).

Este componente es un sensor de efecto Hall (UGN-3503) que se encuentra fácilmente en el mercado, posee en su interior un acondicionamiento para obtener una salida lineal, es extremadamente sensible, salida de bajo ruido y rango de operación de 4.5v a 6v y cumple a cabalidad con las especificaciones que necesitamos para tener una lectura adecuada de la línea magnética.

### Diseño de la PCB

La PCB se diseñó con el fin de adaptar los diferentes dispositivos (ATmega 328P, batería y módulo Bluetooth) al bastón y minimizar el cableado, por ello su forma de diseño,

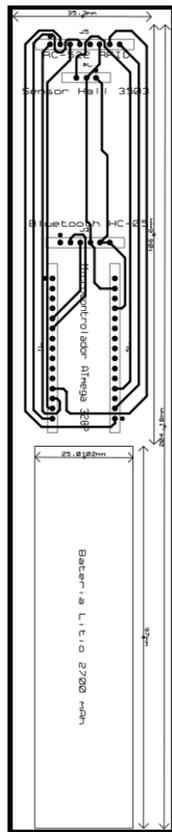


Figura 11. Diseño PCB (Fuente autores 2016) [3]

### Diseño del bastón

En los requerimientos de diseño la prioridad era el peso del bastón, lo ergonómico y, sobre todo, cómodo para manipularlo, por lo cual el material y el tamaño de los dispositivos fueron los objetivos de diseño fundamentales, sin dejar atrás el costo económico. Para el diseño de los accesorios del bastón como lo son el mango y el soporte para el sensor magnético y el módulo RFID se utilizó una impresora 3D para fabricar las partes.

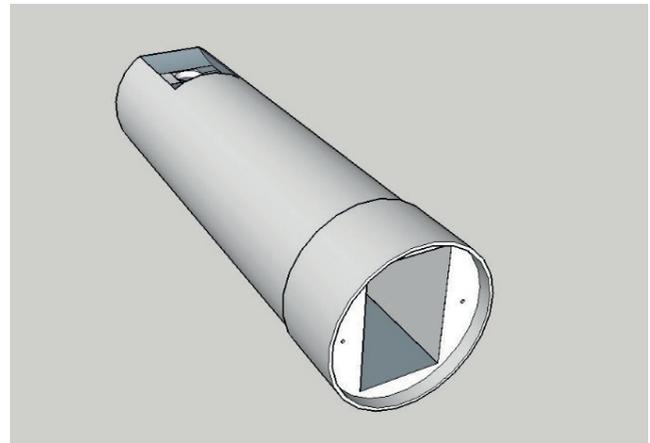


Figura 12. Diseño del mango del bastón (Fuente autores 2016). [4]

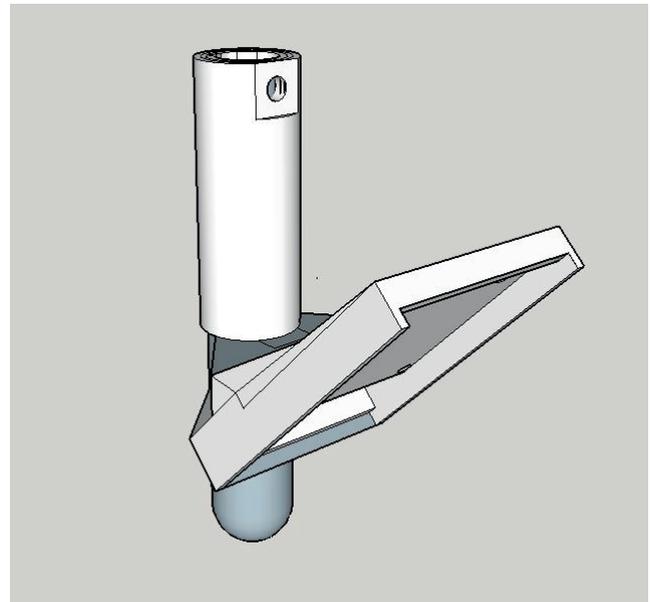


Figura 13. Diseño de la base del sensor magnético y módulo RFID (Fuente autores 2016). [4]

### Implementación

La ejecución tanto de la APP como del dispositivo (bastón inteligente) se llevó a cabo con una serie de pruebas técnicas de funcionalidad, en estas pruebas se evaluaron el de cada módulo y la funcionalidad de la APP, a continuación, se muestran los diagramas de bloques para facilitar la evaluación de cada componente electrónico utilizado en el dispositivo, para la prueba de la APP nos remitimos al diagrama de flujo del mismo.

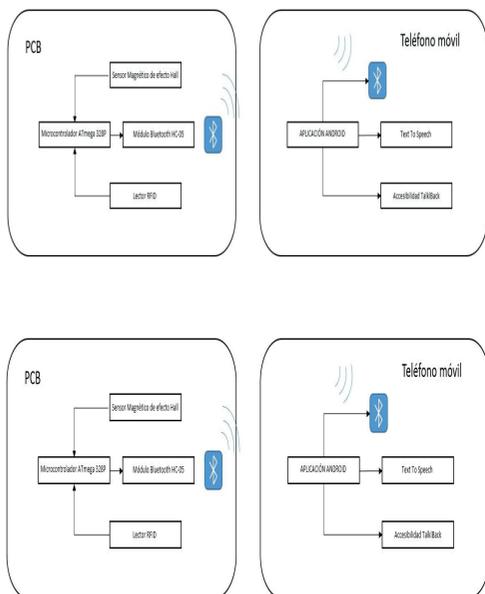


Figura 14. Diseño en bloque implementado (Fuente autores 2016).



Figura 15. Implementación del bastón (Fuente autores 2016).



Figura 16. Entrada al ascensor línea guía magnética (Fuente autores 2016).

## Resultados

Con el fin de evaluar el desempeño del prototipo, se realiza una prueba piloto, con una única muestra de estudio, con el fin de documentar su interacción (dispositivo/usuario) y las opiniones que la persona con discapacidad tiene sobre el mencionado elemento.



Figura 17. Fernando Pastor Acuña (discapacitado visual que perdió su visión a causa de una enfermedad en su niñez "Toxoplasmosis") (Fuente autores 2016).

La prueba piloto se llevó a cabo el día miércoles 23 de octubre de 2016 desde las 11:30 am a 1:30 pm, en el séptimo piso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con un punto de inicio y uno final, la prueba se dividió en capacitación y prueba individual de campo, con el objetivo de que la aplicación (Mi bastón inteligente) informe las opciones de rutas (dos rutas programadas) que puede tomar el usuario, se explica el funcionamiento de la aplicación y las ventajas que tiene al usar la ésta. Se muestra la interfaz de usuario y como seleccionar la opción de su interés.



Figura 18. Capacitación para el uso la aplicación (Fuente autores 2016).



Figura 19. Capacitación del funcionamiento del bastón con la línea guía. (Fuente autores 2016).

Después de la capacitación sobre el uso de la aplicación, se procedió a instruirlo, ahora en el uso del bastón inteligente, haciendo énfasis en el uso de la guía magnética y como debería llevar el bastón (Angulo y posición del mango) para que el lector de tarjetas RFID, quede en posición paralela a la superficie del piso, paso siguiente se muestra la información que el dispositivo transmite a la aplicación cuando detecta el campo magnético de la cinta guía, sumado a este, la información de los Tags RFID.



Figura 20. Prueba de campo de forma autónoma (Fuente autores 2016).

Con la culminación de la capacitación, tanto de la APP como del prototipo. Se dio paso a realizar la prueba de campo donde se tuvo acompañamiento para las primeras 4 pruebas, para las siguientes 9 pruebas el señor Fernando Pastor Acuña las realizó de manera autónoma; se le pide dirigirse desde el ascensor (punto inicial) hasta el grupo de investigación GITEM y LAMIC; un recorrido de 25 metros, que ejecuta una persona vidente a un paso normal, en 24 segundos. Y un segundo objetivo desde el ascensor al grupo de investigación LAMIC, con una distancia de 28 metros con un tiempo de recorrido para una persona vidente de 25 segundos.

#PRUEBA	P. INICIAL	PUNTO FINAL	TIEMPO RECORRIDO	OBSERVACIÓN
1	ASCENSOR	GITEM	2' 96"	Dificultad en la detección de la línea
2	ASCENSOR	LAMIC	2' 34"	Las etiquetas no se leen
3	ASCENSOR	GITEM	2' 03"	Se realiza sin problema
4	ASCENSOR	LAMIC	1' 54"	Se realiza sin problema
5	ASCENSOR	LAMIC	1' 59"	Se realiza sin problema
6	ASCENSOR	GITEM	1' 51"	Se realiza sin problema
7	ASCENSOR	GITEM	2' 02"	Se realiza sin problema
8	ASCENSOR	GITEM	1' 53"	Se realiza sin problema
9	ASCENSOR	LAMIC	1' 58"	Se realiza sin problema
10	ASCENSOR	LAMIC	1' 53"	Se realiza sin problema
11	ASCENSOR	LAMIC	1' 54"	Se realiza sin problema
12	ASCENSOR	GITEM	1' 42"	Se realiza sin problema
13	ASCENSOR	LAMIC	1' 35"	Se realiza sin problema

Tabla 1. Resultados de la prueba de campo donde se registran los tiempos tomados en cada recorrido (Fuente autores 2016).

El desempeño del sistema es óptimo, el Bluetooth que tiene un alcance alrededor de unos 30 metros sin perder conexión (con línea de vista), por lo cual la APP trabaja sin ningún inconveniente; el sintetizador de voz se escucha fuerte y claro y funciona de acorde a los objetivos y especificaciones de diseño.

La parte del sistema concerniente al sensor de efecto Hall y la cinta magnética funciona de forma aceptable, sumándose a esto, lo programado, no presenta ningún tipo de dificultad en la respuesta a los diferentes mensajes que llegan de manera inalámbrica.

Por el contrario, sí se presenta inconvenientes por parte del módulo RFID, ya que se tiene que pasar por la parte central de la etiqueta para poder leerla y con una velocidad de paso del bastón inteligente bastante suave, se presentó situaciones donde no se obtenía la información, aunque podíamos observar lo siguiente: de cada diez veces, una presentó el problema de no lectura, es decir, hay una baja incertidumbre y una buena respuesta del bastón inteligente.

La prueba de campo fue tanto cómoda como rápida, esa facilidad se dio gracias en gran parte a la experiencia en el manejo del Smartphone que tiene el sujeto de prueba, pues él posee uno y tiene experticia en el manejo del mismo.

En los aciertos obtenidos con la aplicación tenemos:

- La interfaz es cómoda para la ubicación dactilar de los botones (conectar, destino 1, destino 2).
- El sintetizador de voz es claro y fuerte en la reproducción de la información al elegir cada opción (botón).
- El desempeño es favorable y sin ningún inconveniente.

### Conclusiones

- Se diseñó un trazado adecuado para que la persona con discapacidad visual transite con seguridad dentro de un recinto cerrado pues la guía se encuentra por el centro del pasillo, y se logró que el batón inteligente siguiera la línea sin ningún inconveniente, además se cumple de manera satisfactoria la comunicación entre la APP y el bastón para transmitir los datos de campo magnético arrojados por la cinta.
- Con ayuda de Android Studio se diseñó una aplicación que cumplió con los requerimientos establecidos, pues esta se conecta de manera eficiente y sencilla con el bastón inteligente por intermedio de la comunicación inalámbrica Bluetooth, siendo amigable la interfaz de usuario con el invidente, adicionalmente la aplicación cuenta con sintetizador de voz como se había propuesto, esto le facilita a la persona discapacitada entender los datos del entorno enviados desde el bastón con eficiencia.
- Logramos diseñar y elaborar un batón inteligente que puede detectar el trazado guía (cinta magnética), adicionalmente dispone de un lector RFID para la recepción de información de los puntos de interés (LAMIC, GITEM). El prototipo cuenta con materiales adecuados para garantizar su ergonomía, durabilidad y peso.
- Se puede apreciar que a medida que el sujeto de prueba se familiariza con el uso del dispositivo, mejora el desempeño de este a la hora de desplazarse haciendo uso del mismo, tal y como se puede apreciar en la tabla 1.

- Es de destacar que durante la capacitación el sujeto de prueba demostró habilidad en el uso del Smartphone lo cual indica que la brecha en el uso de dispositivos móviles por parte de personas en condición de discapacidad visual se reduce contantemente día a día, esto nos permite pensar que para esta población el uso de la tecnología desarrollada para este trabajo es de fácil aprendizaje para ellos.
- A nivel de mejoras futuras la integración de un módulo ultrasonido para la detección de obstáculos en el camino, algo que brindaría más seguridad y confianza al usuario. También integrar el prototipo con sistemas de guías para exteriores, como lo hay actualmente en el mercado, para una integración en el guiado total y en todo lugar, llegando hasta el punto de guiar al invidente desde su casa a cualquier lugar de la ciudad. Para evitar el uso constante del Talkback, la aplicación debe tener la capacidad de implementar el servicio de comandos de voz, para que el interfaz usuario/dispositivo sea aún más transparente.

### Referencias

- [1] O. N. d. C. Españoles, Discapacidad visual y autonomía personal: Enfoque práctico de rehabilitación, Septiembre de 2011 ed., vol. 1, Madrid, España : ONCE , 2011, p. 901.
- [2] S. D. E. D. E. Y. F. PROFESIONAL, «Eduacacion Inclusiva: Dsicapacidad Visual,» Madrid, España , 2014.
- [3] Labcenter, «Proteus Desing Suite 8.0, Software de Diseño para PCB».
- [4] Trimble 2016 Inc., «SketchUp, Software para el modelado de objetos 3D».
- [5] M. A. Peralta y J. V. Urmendiz , Sistema de Asistencia Y Guia Para personas Invidentes, 2014.
- [6] Ó. F. Corredor C, L. F. Pedraza M y C. A. Hernández , Tecnología Bluetooth: Alternativa para redes celulares de voz y datos, 2009.
- [7] I. A. r. r. Bluetooth SIG, "Bluetooth," Mark Powell, 1998. [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com>. [Accessed 28 Septiembre 2016].
- [8] *App Bluetooth-Android Studio 2016 Parte 5*. [Película]. Youtube, 2016.
- [9] *App Bluetooth-Android Studio 2016 Parte 2*. [Película]. Youtube, 2016.
- [10] *App Bluetooth-Android Studio 2016 Parte 1*. [Película]. Youtube.
- [11] *App Bluetooth-Android Studio 2016 Parte 3*. [Película]. Youtube, 2016.
- [12] *App Bluetooth-Android Studio 2016 Parte 4*. [Película]. Youtube, 2016.

- [13] J. E. Amaro , El Gran Libro de Programación Avanzada Con Android, Primera Edición ed., Barcelona, España: Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V México, 2012, p. 400.
- [14] R. D. Fernández , Desarrollo de Aplicaciones para Android II, España: Aula Mentor, 2014.
- [15] T. J. Gironés, El Gran Libro De Android, Segunda Edición ed., Barcelona, España: Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V México, 2012.
- [16] T. J. Gironés , V. Carbonell, C. Vogt, M. García Pineda, J. Mascarell y D. Ferri, El Gran Libro de Android Avanzado, Primera Edición ed., vol. 1, Barcelona: Marcombo S.A, 2013.
- [17] B. F. Lletí y Director: José Francisco Toledo Alarcón, «Comunicación Bluetooth entre Arduino Uno y Android aplicado a un detector de mentiras,» 2015.
- [18] D. García, «Let's code something up!,» 2013. [En línea]. Available: <https://danielggarcia.wordpress.com/2013/10/21/bluetooth-ii-descubriendo-dispositivos/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2016].
- [19] Inc., Google, «Android Studio, Software para crear aplicaciones basado en el lenguaje JAVA».
- [20] J.Aranaz, «Desarrollo de aplicaciones para Dispositivos móviles sobre la plataforma Android de Google,» Madrid, España , 2010.
- [21] M. F. y. O. Vargas, «Mejorar la movilidad del invidente en Bogotá, Volumen 1,» Bogotá, Colombia , 2009.
- [22] M. S. y. C. N. Silva, «Informe de Situacion Actual y estado del Arte, Volumen 1,» 2011.
- [23] C. D. Riascos Hector, «Implementacion de un sistema automatizado de riego mediante uso de aplicaciones Android y energía solar,» Bogotá, 2014.
- [24] Atmel, «ATmega 328P,» 2016.
- [25] L. A. Almonacid, «Estudio de la factibilidad para implementar tecnologías RFID en biblioteca Miraflores,» Valdivia, Chile , 2007.
- [26] K. García, «Sistema de control de acceso vehicular utilizando tecnología RFID,» Florianópolis, Santa Catarina. Brasil , 2013.
- [27] M. A. Pérez, «Sensores de Efecto Hall».
- [28] T. C. Intermec, «Conceptos básicos de RFID: Conocimiento y uso de la identificación por radiofrecuencia,» 2007. [En línea]. Available: [www.intermec.com](http://www.intermec.com). [Último acceso: 29 Agosto 2016].
- [29] R. N. y. R. Dousty, «Identificación por radiofrecuencia RFID,» Cartagena, Colombia, 2007.
- [30] R. Vera, «Un Modelo Predictivo para la localización de usuarios móviles en escenarios bajo techo,» Santiago de Chile, Chile , 2012.
- [31] SND, «Ministerio de salud y proteccion social,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co>.
- [32] CIE, «Ministerio de salud,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co>.

# Simulación de Redes Ópticas Flexibles de Tercera Generación con Net2plan

## Simulation of Third Generation Flexible Optical Networks with Net2plan

Diego Fernando Aguirre Moreno<sup>1</sup>  
Octavio Jose Salcedo Parra<sup>2</sup>  
Jorge Enrique Salamanca Céspedes<sup>3</sup>

### Resumen

En este artículo se describe las principales características de la herramienta de código abierto Net2Plan para la simulación sobre redes ópticas flexibles. Este software fue diseñado para ayudar a los ingenieros en la evaluación de algoritmos de planificación de rutas. Se describe un paso a paso para la simulación de un algoritmo de enrutamiento sobre una topología óptica donde se destacan las principales características de la herramienta.

**Palabras clave:** Simulación, redes ópticas, WDM (Multiplexación por división de longitud de onda), RWA (Encaminamiento y asignación de longitud de onda).

### Abstract

This article describes the main features of the Net2Plan open source tool for the simulation of flexible optical networks. This software was designed to assist engineers in the evaluation of route planning algorithms. We describe a step by step simulation of a routing algorithm on an optical topology where the main characteristics of the tool are highlighted.

**Keywords:** Simulation, Optical Networks, WDM (Wavelength Division Multiplexing), RWA (Routing and Wavelength Assignment).

1 dfaguirrem@correo.udistrital.edu.co  
2 osalcedo@udistrital.edu.co  
3 j@udistrital.edu.co

## Introducción

A menudo es difícil para las compañías y universidades reproducir investigaciones de optimización de red. Esto se debe en parte a la ausencia de una herramienta de planificación que cumpla los requisitos de la industria y el mundo académico, generando demora en el diseño y la validación de los algoritmos

Gracias a las simulaciones realizadas los últimos años por los investigadores, las Redes Ópticas Transparentes están evolucionando para resolver las necesidades de ancho de banda crecientes con provisión inmediata [1], [2]. La distribución del tráfico en la red está directamente relacionado con el desarrollo eficiente de los algoritmos de asignación de ruta y longitud de onda utilizada por el Sistema de Gestión para mejorar la asignación de recursos en la red [3]. Recientemente, los trabajos académicos se están centrando en algoritmos sofisticados RWA (Routing and Wavelength Assignment) que son conscientes de las limitaciones y efectos de la capa física [4] - [9].

Los investigadores profundizan en nuevos problemas de planificación para tecnologías de vanguardia desarrollando sus algoritmos casi desde cero. A menudo este código fuente no sólo es indocumentado, sino que también es inédito. Software's de código abierto pueden tener un papel importante en este contexto para satisfacer los requisitos de la academia y la industria. En este campo existe una herramienta de planificación y simulación de redes de código abierto llamada Net2Plan [10].

## Antecedente

Net2plan inicio como el software MatPlanWDM que fue una herramienta de planificación de red para WDM (Multiplexación por división de onda) con enrutamiento de longitud de onda. Los parámetros de entrada para el problema de planificación son la topología física de red, la matriz de tráfico y las limitaciones tecnológicas como el número de transmisores, receptores, convertidores ópticos y longitudes de onda disponibles. Incluye una implementación del problema de programación lineal mixta (MILP) para obtener la solución óptima. Una GUI de análisis de lo que pasa si permite el diseño de pruebas exhaustivas. Una GUI de análisis de varias horas que soporta la evaluación de algoritmos de planificación dinámica que reaccionan a matrices de tráfico que varían cada hora del día. Esto es útil para la planificación de topologías intercontinentales que abarcan múltiples zonas horarias, donde la actividad

del nodo se ve afectada por su hora local. Una GUI de planificación dinámica permite probar algoritmos dinámicos genéricos que reaccionan a las llegadas y salidas de flujos [11].

Existen diversas alternativas que permiten la simulación de redes, a continuación se presentan algunas de las características de los principales paquetes de software.

## OPNET



Ilustración 1 Emblema de OPNET

Fuente: [www.opnet.com](http://www.opnet.com)

OPNET Modeler es una herramienta diseñada para el modelado y simulación basada en la teoría de colas, ofrece un gran número de diferentes herramientas para soportar el modelamiento y simulación de redes en varias tecnologías. Incorpora librerías para facilitar el modelado de redes de comunicaciones. OPNET Modeler tiene una interfaz gráfica de usuario con varios editores para la creación, modificación y verificación de modelos, para la implementación de simulaciones. Los modelos de simulación son construidos de forma jerárquica, es un programa ampliamente utilizado en la industria para modelar y simular sistemas de comunicaciones; permite diseñar y estudiar redes, dispositivos, protocolos y aplicaciones, brindando escalabilidad y flexibilidad, cualidades que le permiten ofrecer a sus usuarios, trabajar en procesos de investigación y desarrollo [12].

MODELER es un software desarrollado por OPNET; orientado a simular objetos mediante un editor gráfico que permite diseñar una topología de red, soporta un amplio rango de tecnologías tipo LAN, MAN y WAN. Los siguientes cuatro niveles son usados por OPNET:

### Nivel de red

Modelamiento de topologías de red y configuración total toma lugar en este nivel de modelamiento. Los elementos de red como los enlaces de comunicación y dispositivos tipo nodo son usados para construir el modelo. El modelo de la red, involucra la creación de nodos, los cuales internamente están constituidos por distintos tipos de módulos y conexiones; finalmente se define la función que desempeñará cada módulo o nodo durante la simulación, a través de los modelos de proceso.

El OPNET está basado en una serie de editores jerárquicamente organizados, los cuales permiten diseñar y configurar los modelos de red, de nodos y de procesos en las topologías de red que se van a simular con este programa. Los editores trabajan en forma directa y paralela la estructura real de la red, los equipos y los protocolos.

### Nivel de nodo

En este nivel la estructura interna de los dispositivos del nivel de red es modelada. Elementos usados para el modelamiento incluyen: módulos de procesos genéricos, módulos de encolamiento, receptores y transmisores. Este nivel captura la arquitectura de una red, un dispositivo o un sistema, describiendo el flujo de los datos entre elementos funcionales, a los cuales se les conoce como módulos. Cada módulo, puede generar, enviar o recibir paquetes a los demás módulos de la red, de acuerdo a la función que representa dicho nodo. Generalmente, los módulos representan aplicaciones, protocolos, algoritmos o recursos como: buffers, puertos y buses, entre otros; es decir que todo nodo es asignado a un proceso o evento dentro de la simulación, y esto se logra, mediante el editor de procesos.

### Nivel de procesos

La funcionalidad de cada módulo se define a través de modelos de proceso, que se representan mediante máquinas de estado finitos (FSM). Las cuales soportan las especificaciones, detalles, protocolos, recursos y aplicaciones que se desean configurar en la red modelada gráficamente con los editores de proyecto y de nodos respectivamente.

Los estados y transiciones generadas como respuesta al desarrollo de cada evento ejecutado, contienen un código en lenguaje C/C++, y están soportados por una amplia librería de funciones designadas por la programación de los protocolos. Cada FSM puede definir sus propias variables de estado y pueden hacer llamados al código según las librerías que proporcione el usuario; es decir las FSMs dinámicamente se pueden generar, durante la simulación, en respuesta a un evento específico. Dentro de este editor, se puede acceder al código fuente en lenguaje C/ C++, que describe la red diseñada gráficamente.

Las capacidades de la librería de modelos de OPNET no son limitadas por lo que es posible el desarrollo de protocolos o modelos de dispositivos con el editor de procesos y editor de nodos.

### Nivel Proto-C

Proto-C es una extensión del lenguaje de programación C (o C++). Un gran número de procedimientos de kernel están disponibles. OPNET es una poderosa herramienta de simulación de eventos discretos que es usada ampliamente en la industria ya que tiene grandes librerías de modelos de simulación e interfaces grafica de usuario lo que permite una forma simple de modelamiento de redes. También tiene librerías de modelos de redes de comunicaciones usados en la vida real, como son routers y switches, incluyendo los usados en las redes wireless. Esas librerías son usadas para implementar diferentes protocolos con variaciones de entrada, salida y comportamiento. OPNET tiene un amplio portafolio para el modelamiento, diseño, simulación y tiempo real garantizando en el contexto informes detallados dentro de los requerimientos de infraestructura.

El único problema es que no soporta secuencias, análisis en línea de los datos de salida de la simulación, así que intentar y repetir la simulación es la única forma posible de producir suficientes estimaciones para los usuarios de OPNET.

### NS-2

NS-2 también conocido como “Network Simulator en su 2 edición”, comienza como una variante de REAL network simulator en 1989 y ha evolucionado sustancialmente en los últimos años. En 1995 el desarrollo NS era soportado por DARPA a través de VINT Project (Virtual InterNetwork Testbed) en LBL, XEROX PARC, Universidad de California en Berkeley, Universidad de California en San Diego y sus institutos de ciencias de la información. Actualmente el desarrollo de NS-2 es soportado a través de DARPA con SAMAN (Simulation Augmented by Measurent and Analisis for Networks) y a través de NSF con CONSER (Collaborative Simulation for Education and Research), ambos en colaboración con otros proyectos de investigación, incluyendo ACIRI (the Center for Internet Research at the ICSI, Universidad de California en Berkeley). Adicionalmente, NS-2 también incluye contribuciones de otros investigadores.

### Descripción General de NS-2

NS-2 es un simulador de eventos discretos para redes. Este usa el lenguaje de programación OTcl para definir el escenario de simulación. El núcleo del simulador es la cantidad de modelos de protocolos de red que han sido escritos en C++, y el resto está

en OTcl. Como el código fuente está disponible hay muchos módulos externos para NS-2 que por defecto NS-2 no trae y permite el desarrollo de modelos que son experimentales y que no son soportados por la industria. Como resultado de la simulación, se pueden obtener datos matemáticos para un estudio posterior o bien, trazas específicas para visualizarlas en la herramienta NAM del NS [13].

El diseño del simulador separa los datos del control por medio del uso de: (i) C++ para datos y (ii) OTcl para el control. En la práctica algunos de los modelos de protocolos están en OTcl. NS es un intérprete de script Tcl orientado a objetos (OTcl). Para usar NS se debe programar en lenguaje OTcl. Para configurar y correr la simulación, se debe escribir un script OTcl que inicia un planificador de eventos (Event Scheduler), establecer la topología de la red utilizando el componente de red (Network Component), definir las librerías necesarias para correr la simulación (Network Setup Helping Module) e informar a las fuentes de tráfico al iniciar y detener la transmisión de paquetes a través del planificador de eventos.

Los componentes de red se comunican entre sí pasando paquetes, sin embargo, esto no consume tiempo real de simulación. Todos los componentes de red que necesitan gastar tiempo de simulación (es decir, cuando se necesita un retraso) utilizan el planificador de eventos. Para correr una simulación se inicia desde la línea de comandos mediante la definición del escenario TCL como parámetro. Esto significa que la construcción del modelo implica saber cómo usar TCL. No sólo la estructura del modelo, sino también todas las acciones necesarias o deseadas que se han definido en TCL, incluyendo, por ejemplo, la producción de datos de salida.

NS viene compilado con una librería básica, que permite la realización casi inmediata de simulaciones TCP/IP bastante completas (ejemplo: FTP, TCP, fuentes de tráfico, RIP, OSPF...), sin necesidad de compilar código C++. Incluso es posible implementar algoritmos en lenguaje interpretado, aunque ello conlleva un tiempo de ejecución mayor. La instalación de nuevos protocolos o elementos precisa de recompilar todo el entorno, para el enlace de los nuevos objetos en el código e implementar el comportamiento [14].

## OMNET++



Ilustración 1. Emblema del software OMNET ++  
Fuente: [www.omnet.com](http://www.omnet.com)

Es una aplicación orientada a la simulación de objetos y a modelar eventos discretos en redes de comunicaciones, posee una gran cantidad de herramientas y una interfaz que puede ser manejada en plataformas Windows y en distribuciones tipo Unix, haciendo uso de varios compiladores de C++; básicamente este simulador de redes recrea eventos discretos por medio de módulos orientados a objetos; puede ser utilizado para modelar el tráfico de información sobre las redes, los protocolos de red, las redes de colas, multiprocesadores y otros sistemas de hardware distribuido; además para validar arquitecturas de hardware y evaluar el rendimiento de sistemas complejos.

Un modelo en OMNET ++ se construye con módulos jerárquicos mediante el lenguaje NED, dichos módulos pueden contener estructuras complejas de datos y tienen sus propios parámetros usados para personalizar el envío de paquetes a los destinos a través de rutas, compuertas y conexiones. Los módulos de más bajo nivel son llamados simple modules y son programados en C++ usando la librería de simulación [15].

## Descripción General de Omnet ++

OMNET++ se entiende por Objective Modular Network Testbed in C++, el cual es una aplicación de código abierto, paquetes de simulación basadas en componentes, construido en fundaciones C++. Ofrece librerías de clases de simulación en C++ y soporte para una interfaz gráfica de usuario. El principal autor es Andrés Varga de la Universidad Técnica de Budapest, con contribuciones de un amplio número de personas.

El simulador puede ser usado para: modelamiento de tráfico en redes de telecomunicaciones, modelamiento de protocolos, redes de encolamiento, multiprocesos y otros sistemas de hardware distribuidos; validación de arquitecturas de hardware; evaluación del rendimiento en aspectos de complejidad de sistemas de software; en general: el modelamiento de cualquier sistema que pueda ser mapeado en componentes activos de simulación. OMNET++ ha sido cuidadosamente diseñado para el punto de vista del software, resultando en un producto bien organizado, flexible y fácil de usar. Los principales componentes de OMNET++ son:

- Librería del kernel de simulación.
- Compilador para la topología NED.
- Editor gráfico de redes para archivos NED.
- GUI para la ejecución de la simulación.
- Interfaz para el usuario por medio de línea de comandos para la ejecución de la simulación.

- Herramienta gráfica para el vector resultante.
- Diferentes utilidades.
- Documentación, ejemplos de simulación, material contribuido, etc.

Básicamente, con el lenguaje NED se definen tres módulos: módulos simples, módulos compuestos y de redes; dentro de los cuales se encuentran los componentes y especificaciones de la descripción de una red de comunicaciones.

Con el fin de facilitar el diseño de redes y la simulación de eventos sobre las mismas, OMNET ++, permite al usuario trabajar gráficamente empleando el editor del lenguaje NED (GNED). Este editor es la interfaz gráfica que permite crear, programar, configurar y simular redes de comunicaciones, sin necesidad de hacerlo utilizando la codificación del lenguaje NED; ya que automáticamente, GNED se encarga de generar el código del lenguaje, de acuerdo al diseño y configuración que realiza el usuario en forma gráfica. Además GNED, permite acceder fácilmente a dicho código.

Para fines de investigación y desarrollo, es necesario saber programar en lenguaje NED, ya que el trabajo con el editor gráfico, es más rígido. Por ser un software de aplicación en áreas comerciales y para efectos de investigación y desarrollo, tiene un alto grado de complejidad en su manejo.

### GLASS/SSFNet

A continuación se presenta uno de los más conocidos simuladores de redes llamado GLASS (GMPLS Lightwave Agile Switching Simulator) que es un software de libre distribución:

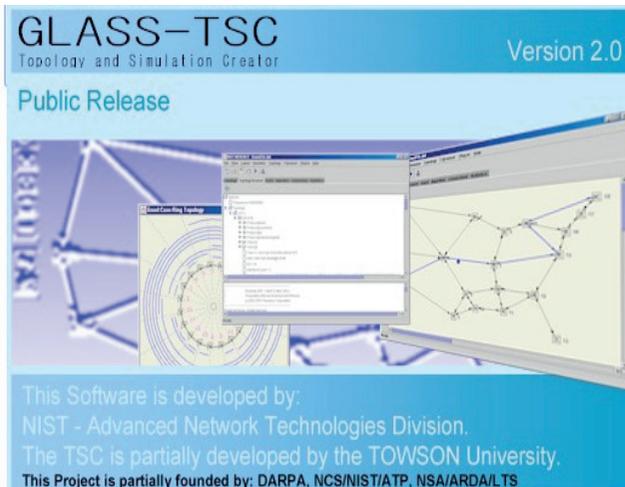


Ilustración 2 Interfaz principal del programa GLASS/SSFNET  
Fuente: plataforma Glass

### Descripción General de GLASS/SSFNET

GMPLS Lightwave Agile Switching Simulator conocido generalmente como GLASS es una herramienta de simulación de redes basada en java que facilita la evaluación del encaminamiento, restauración y protocolos de señalamiento en un ambiente óptico y permite a los planeadores de red e investigadores el estudio de los comportamientos de algoritmos y protocolos sin la necesidad de construir una implementación real.

El software originado de la cooperación de High Speed Network Technologies División de NIST. El simulador GLASS representa la siguiente generación de la herramienta previa MERLiN que fue desarrollada en 1998 por NIST.

GLASS provee el acceso a la librería entera de los protocolos disponibles en SSF. Estos protocolos corren en un dominio no óptico. En el lado óptico, GLASS provee acceso a modelos de GMPLS, OSPF estático en redes ópticas, IP sobre redes ópticas, diversos ejemplos de implementaciones de fallas de propagación y protocolos de restauración que no son basados en IP. Básicamente GLASS es un simulador por línea [16].

### QUALNET



Ilustración 3 Emblema de Qualnet.

Fuente: <http://www.scalable-networks.com/content/products/qualnet>

### Descripción General de QUALNET

El software de simulación de redes QualNet ha sido desarrollado y comercializado por Scalable Network Technologies. Provee un comprensivo conjunto de herramientas con muchos componentes para el modelamiento de red y la simulación. QualNet tiene un rango amplio en modelos inalámbricos, lo cual es su principal fortaleza.

El usuario puede decidir si usar la interfaz gráfica, la cual está basada en java. Esto permite la construcción de las topologías usando los bloques de construcción como los componentes de red [17].

Una entidad de red en QualNet es hecha para 5 capas. Estas son: Aplicación, Transporte, Red, MAC y Física. Cada capa es codificada como una fuente C. Cualquiera de estas capas puede ser modificada o reemplazada con capas personalizadas. La mayoría del código fuente es provisto bajo la licencia básica.

## VPI



Ilustración 4 Emblema de VPI Photonics  
Fuente: <http://www.vpiphotonics.com/>

Herramienta para el diseño de nuevos sistemas ópticos incluidos de corto alcance, de acceso, de larga distancia en transmisión óptica que permite la actualización de tecnología y sustitución de componentes para plantas de redes existentes [18].

VPI es un simulador de tipo modular. Los esquemas de simulación se componen de módulos interconectados entre sí simulando un esquema de conexionado experimental. El software sólo permite conectar entre sí módulos compatibles. Por ejemplo, una salida sólo puede conectarse con una entrada y no con otra salida, y deben ser del mismo tipo, eléctricas, numéricas, ópticas, etc. Otros aspectos importantes se describen a continuación:

**Universos, galaxias y estrellas:** Existen tres niveles de esquema en VPI, los universos, las galaxias y las estrellas. Las galaxias podrán formar parte de un esquema universo pero tendrán la posibilidad de adoptar sus propios parámetros. Los universos serán el esquema principal donde interconectaremos las diferentes galaxias y estrellas. Las estrellas se consideran el último nivel al que podemos acceder, siendo un módulo no modificable.

**La organización es jerárquica:** En los universos podemos definir propiedades o atributos que se hereden en las galaxias, teniendo la ventaja de poder modificar rápidamente los atributos del esquema. Igualmente, se heredan los atributos de las galaxias de mayor nivel a galaxias de menor nivel, o estrellas comprendidas dentro de ellas. También existe la posibilidad de tener un esquema universo formado exclusivamente por estrellas. Para entrar en el esquema de una galaxia hemos de pulsar el botón derecho y seleccionar la opción Look inside.

**Gráficas:** Una vez montamos un esquema en VPI disponemos de un complemento para extraer información gráfica y numérica, el denominado VPI Photonics Analyzer. Para ello se han de conectar y activar los diferentes bloques visualizadores que están disponibles, como por ejemplo, módulo de datos en 2D para la representación de constelaciones IQ o la representación del espectro de la cantidad de muestras a simular.

**Parámetros:** Para poder atribuir propiedades a los diferentes niveles de VPI de nueva creación, es necesario generar parámetros de esquema. Existen dos tipos de parámetros, los que tienen un carácter global y se aplican de forma exhaustiva y los parámetros específicos de estrella.

**Muestras en la simulación:** El flujo de datos de la simulación puede ser de tipo numérico o eléctrico y óptico. Cada módulo prediseñado por VPI tiene unos requisitos de datos de entrada y salida, y acepta una de las dos variantes o las dos.

### Parámetros globales de VPI.

Los parámetros globales son comunes en todos los módulos de la simulación y tienen mucha importancia para su correcto funcionamiento. A continuación se verán cuales son:

- **Time Window:** Este valor establece el periodo de tiempo que se representa. A su vez fija la resolución espectral de la simulación.
- **Sample Rate Default:** Especifica la frecuencia de muestreo y se define como el número de muestras por segundo. También determina resolución temporal.
- **Sample Mode Center Frequency:** Generalmente las señales ópticas tienen una frecuencia mucho mayor a las señales eléctricas. Para un correcto muestreo, se necesita una frecuencia muy alta. Para evitar problemas, VPI trata las señales haciendo un equivalente paso bajo utilizando esta variable.
- **Sample Mode Bandwidth:** Define una resolución temporal y el ancho de banda de la simulación.
- **Bit Rate Default:** Define la tasa de transmisión de bit en el emisor.
- **In Band Noise Bins:** Este parámetro tiene dos estados (ON y OFF). ON define el ruido dentro de la banda. Es útil para la estimación de una BER determinista. Por otro lado, OFF añade ruido aleatorio en la banda. Al igual que Bit Rate Default, este parámetro no será utilizado a lo largo del proyecto.
- **Boundary Conditions:** Permite especificar las condiciones periódica o aperiódica en la simulación. Generalmente los cambios sufridos en una señal cuando pasa por un sistema son simulados primero en el dominio de la frecuencia

y posteriormente en el dominio temporal. Si se trabaja con señales periódicas VPI hace una FFT, mientras que si se usan señales aperiódicas lo simula mediante una convolución. Como se va a trabajar con señales periódicas, este parámetro estará en “periodic”.

- **Logical Information:** Esta es una herramienta que usa VPI para enviar información entre los diferentes módulos de una misma simulación.

### Esquema de simulación en NET2PLAN

La Tabla 1 muestra la comparación entre las principales herramientas de simulación, teniendo en cuenta algunos parámetros que permiten guiar al usuario en el proceso de selección y toma de decisión que se ajuste a sus requerimientos. El tipo de licencia de las herramientas es determinante, puesto que, aquellas con licencia libre generalmente son la primera opción para los usuarios que no tienen la posibilidad de adquirir una. Sin embargo, el hecho de que una herramienta posea licencia libre se debe valorar con respecto a la documentación y soporte, para asegurar el apoyo de la comunidad académica, acudiendo a la revisión de errores o problemas a los que otros autores se han enfrentado y han corregido. Diferente a lo que ocurre con los simuladores de licencia comercial, que brindan el soporte durante el tiempo de validez de la licencia.

SIMULADORES	OPNET	OMNET	NS-2	NET2PLAN
Uso investigativo	Alto	Alto	Alto	Alto
Tipo de licencia	Comercial	Libre	Libre	Libre
Curva de aprendizaje	Alto	Alto	Alto	Alto
Plataformas que soporta	Windows / Unix	Windows / Unix	Windows / Unix / MAC	Windows / Unix / MAC
Interfaz gráfica	Ato	Medio	Bajo	Medio
Graficas de resultados	Buena	Aceptable	No tiene	Buena
Tecnologías de nivel 2 y nivel 3 que soporta	Alto	Alto	Alto	Alto
Tráfico que permite modelar	Alto	Medio	Alto	Alto

Tabla 1 Parametrización de las herramientas de simulación. Fuente: Creación Propia.

Otro parámetro importante a tener en cuenta es el uso específico que se le ha dado a cada simulador. Aunque la mayoría son capaces de simular diferentes tipos de redes, las referencias en un tema específico hacen que la cantidad de información, módulos y desarrollo en el tema sea mayor, lo cual permite

establecer, en un primer análisis, si la herramienta se ajusta a los requerimientos del usuario.

Se selecciona NET2PLAN como software de simulación en redes ópticas sobre las demás herramientas debido a su facilidad en la simulación de algoritmos, edición de nodos, fácil programación en mediante Eclipse y una plataforma de administración sencilla en el diseño de cada capa. En las demás herramientas para poder lograr simulaciones ópticas se deben instalar extensiones de software las cuales presentan inconvenientes, otras herramientas se centran en el diseño físico dejando un lado el diseño de espectro y enrutamiento.

Con NET2PLAN en las redes WDM con encaminamiento de longitud de onda, se pueden establecer canales totalmente ópticos que atraviesan varias fibras. Un sendero de luz ocupa un canal (una longitud de onda en redes de rejilla fija y un conjunto de ranuras de frecuencia en redes de rejilla flexible) en cada enlace atravesado y dos caminos de luz enrutados sobre el mismo enlace físico no pueden usar la misma ranura de frecuencia. Esto se denomina restricción de choque de longitud de onda o frecuencia. Los algoritmos para Routing y Spectrum Assignment (RSA) y Routing y Wavelength Assignment (RWA) en las redes WDM de red flexible y fija respectivamente son los que deciden por cada ruta de luz la ruta y las franjas de frecuencia (longitudes de onda) a ocupar en cada fibra atravesada. Típicamente, las longitudes de onda de un camino luminoso no pueden cambiar a lo largo de las fibras atravesadas (puesto que no están disponibles los convertidores de longitud de onda). En este caso decimos que el problema tiene la restricción de continuidad de longitud de onda. A continuación se desarrolla un paso a paso para la simulación de una topología de red óptica flexible en Net2plan en el esquema “Offline network simulation”. En el software existen dos esquemas de simulación que son:

- **Offline network simulation:** Esta herramienta está diseñada para crear una red estática o fuera de línea, representado internamente por el objeto NetPlan, que contiene los elementos: nodos de red, enlaces, demandas de tráfico unicast y multicast, rutas, segmentos de protección, árboles de multidifusión, capas de red y SRG. La palabra offline aquí significa que todas las variables del plan de red se supone que son estáticas (no cambian a lo largo del tiempo). Se supone que los tráficos optimizados son constantes representando volúmenes de tráfico promedio.

- **Online network simulation:** En un entorno real, las condiciones de la red varían durante su funcionamiento, de acuerdo con los diferentes fenómenos. Los fallos en los nodos y enlaces, el establecimiento de nuevos circuitos virtuales o la variación en los volúmenes de tráfico son algunos ejemplos. En este caso, los usuarios podrían estar interesados en analizar, utilizando una simulación dirigida a eventos, cómo sus redes reaccionan a esos cambios y cómo sus diseños se adaptan en consecuencia a ellos.

Net2Plan proporciona una herramienta de simulación post-análisis que permite al usuario la evaluación (conjunta) de la característica de disponibilidad de los algoritmos de protección y restauración de la red, el rendimiento de los sistemas de aprovisionamiento en línea que asignan recursos a las conexiones entrantes (por ejemplo, solicitudes de circuitos virtuales, Peticiones de trayectos ópticos, llamadas telefónicas, sesiones multimedia), el rendimiento de los algoritmos de asignación dinámica que reaccionan a las variaciones en los volúmenes de demanda de tráfico, o en general cualquier asignación durante el funcionamiento de la red.

### Panel de Topología



En la Ilustración 6 se observa la plataforma de diseño de Net2plan. En el formulario principal se crean o cargan las topologías para agregar las demandas de acuerdo a la capa de la simulación.

Los usuarios pueden agregar o eliminar nodos y enlaces, así como mostrar / ocultar los nodos no conectados para aclarar la pantalla. Cuando se carga un diseño multicapa, una caja combinada permite a los usuarios seleccionar la capa actual.

Algunas manipulaciones que se pueden realizar son:

- **Agregar nodos:** Los nodos se insertan haciendo clic derecho en el panel y utilizando la opción Agregar nodo aquí.
- **Eliminar nodos:** Los nodos pueden eliminarse haciendo clic con el botón derecho del ratón sobre ellos y utilizando la opción Quitar nodo.
- **Mover nodos:** Es posible mover nodos arrastrándolos, mientras presiona la tecla CTRL.
- **Agregar enlace.** Los enlaces se insertan haciendo clic primero en el nodo de origen y luego en el nodo de destino. Es posible insertar enlaces unidireccionales o bidireccionales.

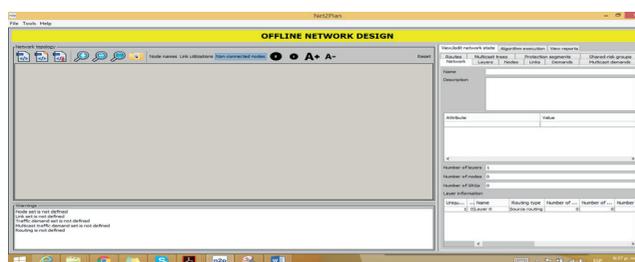


Ilustración 5. OFFLINE NETWORK DESING. Fuente: Plataforma Net2plan

Para cargar una topología simplemente debe seleccionar en el cuadro de dialogo del botón “Load a Network Desing” como se observa en la Ilustración 7. Para nuestra simulación paso a paso se selecciona la topología NSFNET (National Science Foundation Network) que se compone de 14 nodos y 42 enlaces.

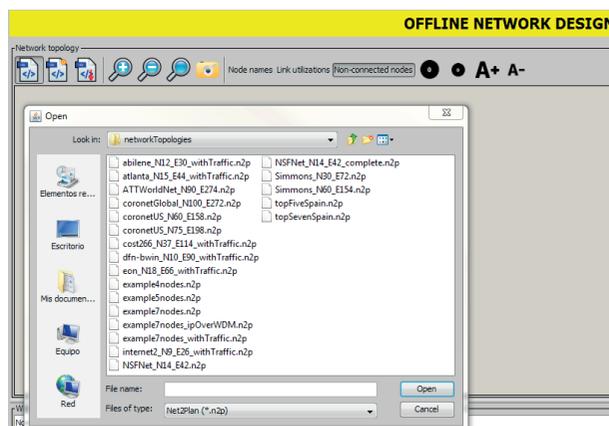


Ilustración 6 Load a Network Desing. Fuente: Plataforma Net2plan

Una vez cargada o creada la topología se debe empezar con la configuración en el panel derecho, en la Ilustración 8 se observa la sub-pestaña de “Network” donde para el caso de las redes ópticas se debe agregar la Capa 0 (Transporte). Como segundo paso se deben ajustar las capacidades de cada enlace en la sub-pestaña “Link” y las demandas de Tráfico en la sub-pestaña “Demands” (Ilustración 9).

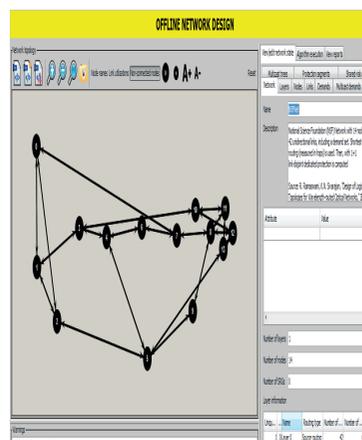


Ilustración 7 Network. Fuente: Plataforma Net2plan

Un enlace comienza en un nodo y termina en un nodo diferente (no se permiten enlaces propios). Dos nodos se pueden conectar por cero, uno o más enlaces. Cada enlace de una red está representado por un objeto "Link". Cada enlace se caracteriza por:

- **Nodo Origen (Nodo):** El nodo donde se inicia el enlace.
- **Nodo de destino (Nodo):** El nodo donde termina el enlace.
- **Capa de red (NetworkLayer):** La capa a la que pertenece el enlace.
- **Capacidad:** La capacidad del enlace, medida en unidades de capacidad de capa del enlace (la capacidad de todos los eslabones de la misma capa se mide en las mismas unidades).
- **Longitud:** La longitud en km del enlace.
- **Velocidad de propagación (doble):** La velocidad de propagación de la señal a lo largo del enlace. Normalmente 200.000 km / s en redes cableadas y 300.000 km / s en redes inalámbricas. Esto se utiliza en cálculos de retardo.
- El tráfico Unicast se modela a través de un conjunto de demandas. Cada demanda representa un flujo de tráfico unidireccional de extremo a extremo ofrecido a la red, entre dos nodos particulares diferentes. Dos nodos pueden tener cero, una o más demandas entre ellos. Cada demanda está caracterizada por:
  - **Ingress node (Node):** El nodo donde se inicia la demanda.
  - **Nodo de salida (Node):** El nodo donde termina la demanda.
  - **Capa de red (NetworkLayer):** La capa a la que se dirige la demanda. Una demanda pertenece sólo a una capa de red.
  - **Tráfico ofrecido:** La cantidad de tráfico ofrecido, medida en las unidades de tráfico de capas de las demandas (el tráfico ofrecido de todas las demandas en la misma capa se mide en las mismas unidades). El tráfico que realmente se transporta depende de cómo se enrute el tráfico de demanda.

Columna1	NSFNet
No Nodos	14
No Enlaces	42
No Demandas	182
No Demandas Multicast	14
No Rutas	486
No Multicast Trees	14
No Segmentos con Protección	486

Tabla 2 Parámetros de Entrada NSFNET  
Fuente: Creación propia.

Las demandas se pueden configurar manualmente o generar demandas por nodo par automáticamente. En la pestaña de protección se pueden separar enlaces para proteger determinados tráficos. El tráfico de Multicast se modela a través de un conjunto de demandas de Multicast. Cada demanda representa un flujo de tráfico Multicast ofrecido, comenzando en un nodo de ingreso particular y terminando en un conjunto particular de nodos de salida (diferente al nodo de ingreso). El número de demandas de Multicast que afectan a un nodo es arbitrario.

En la tabla 2 se observan los parámetros de entrada para la simulación paso a paso de ejemplo sobre la red de transporte OTN en la topología NSFNET.

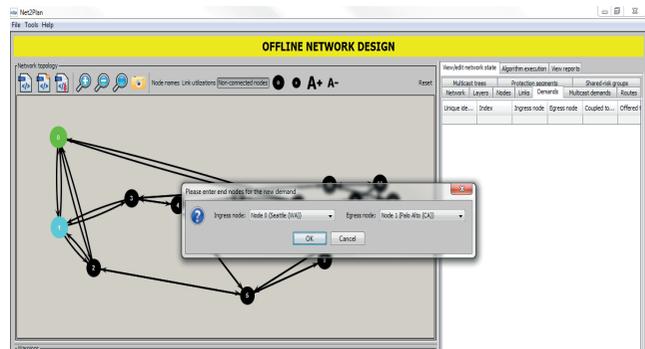


Ilustración 8 Demandas  
Fuente: Plataforma Net2plan

Una vez realizada la configuración inicial se debe seleccionar o programar el algoritmo de simulación.

### Algoritmo

Para desarrollar un nuevo algoritmo se deben agregar las librerías de Net2plan sobre eclipse. Una vez que se selecciona un algoritmo, el campo Texto de descripción muestra la descripción del algoritmo devuelta por el método getDescription () del algoritmo. El panel Parámetros muestra el conjunto

de parámetros de entrada del algoritmo. Net2Plan invoca el algoritmo `getParameters ()` método para obtener la lista de parámetros de entrada, con un nombre, un valor predeterminado y un mensaje de descripción para cada uno. Esta información se muestra en el panel Parámetros (Ilustración 10). A continuación, la interfaz gráfica permite al usuario modificar el valor de cualquier parámetro antes de ejecutar el algoritmo.

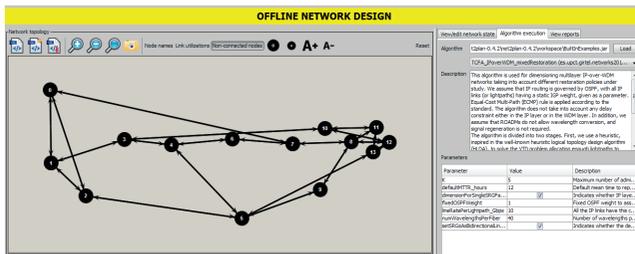


Ilustración 9 Algoritmo  
Fuente: Plataforma Net2Plan

En la herramienta los algoritmos reciben un plan de red y devuelven un plan de red modificado. En nuestro ejemplo con la topología NSFNET el algoritmo espera recibir un objeto de NetPlan con nodos, enlaces, tráfico y agrega la información de encaminamiento a la topología. El algoritmo se ejecuta pulsando el botón Ejecutar. En este momento, Net2Plan invoca el método `executeAlgorithm ()` del algoritmo, pasando como entradas el diseño de red actual, los valores de los parámetros de entrada y los valores de los parámetros de entrada del algoritmo.

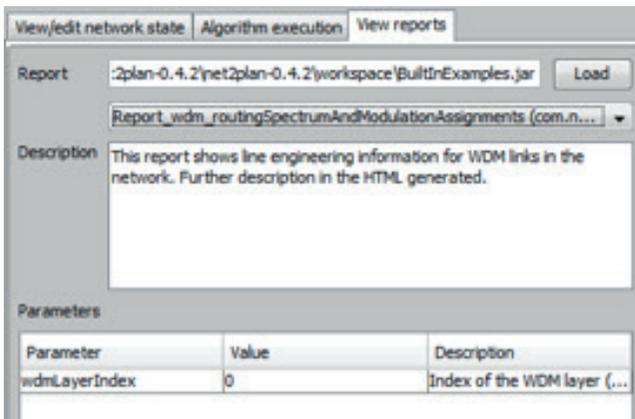


Ilustración 10 Reportes  
Fuente: Plataforma Net2Plan

**Reportes**

A nivel de reportes la plataforma trae estructurados una cantidad de ejemplos los cuales se pueden editar en eclipse y ajustarlos a las necesidades (Ilustración 11). Para nuestro caso de simulación se toman los valores de los reportes ya configurados en la herramienta y al variar la cantidad de tráfico

ofrecido a la red se toman los resultados de las variables de salida tales como delay, probabilidad de bloqueo, número de rutas, etc (Tabla 3).

Métrica	Valor
Number of nodes	14
Number of links	42
Node out-degree (max, min, avg)	4, 2, 3.000
All links are bidirectional (yes/no)	Yes
Layer diameter (hops, km, ms)	3, 4500.000, 22.5
Capacity installed: total	3.360.000
Capacity installed: average per link	80.000
Capacity installed (limited capacity links): total	3.360.000
Capacity installed (limited capacity links): average per link	80.000
Number of UNICAST demands	182
Offered UNICAST traffic: total	4.992.997
Offered UNICAST traffic: average per node pair	27.434
Blocked UNICAST traffic (%)	0.000
Symmetric offered UNICAST traffic?	No
Number of MULTICAST demands	14
Offered MULTICAST traffic: total	420.000
Blocked MULTICAST traffic (%)	0.000
Number of routes	184
Unicast routing is bifurcated?	Yes
Network congestion - bottleneck utilization (w. reserved bw, w.o. reserved bw)	2.538, 4.413
Average (unicast) route length (hops, km, ms)	2.322, 2174.126, 10.9
Unicast routing has loops?	No
Number of multicast trees	14
Multicast routing is bifurcated?	No
Average multicast tree size (hops, km)	8.143, 9864.286
Number of protection segments in this layer	184
Average link capacity reserved for protection (absolute, %)	3.810, 20.863
% of carried traffic unprotected	0.000
% of carried traffic complete and dedicated protection	0.000
% of carried traffic partial and/or shared protection	100.000
Number of SRGs in the network	2
SRG definition characteristic	Mixed
% routes protected with SRG disjoint segments (w. end nodes, w.o. end nodes)	100.000, 100.000

Tabla 3 Simulación NSFNET  
Fuente: Creación propia

**Resultados**

Con NET2PLAN se puede tener trayectos de luz de diferentes velocidades de línea (10, 40 y 100 Gbps), que ocupan el mismo número de ranuras de frecuencia. Esto se debe a que los transpondedores (los que transmiten y reciben las señales ópticas)

pueden basarse en diferentes modulaciones ópticas con diferentes eficiencias espectrales de acuerdo a la programación del usuario. Por ejemplo, un transpondedor que utiliza la modulación BPSK tiene una eficiencia espectral de 1 bps / Hz, mientras que un transpondedor más sofisticado que utiliza 16-QAM tiene 4 bps / Hz. En nuestro caso se simuló un espectro flexible con transpondedores de 12,5 Ghz, 25 Ghz, 37,5 Ghz.

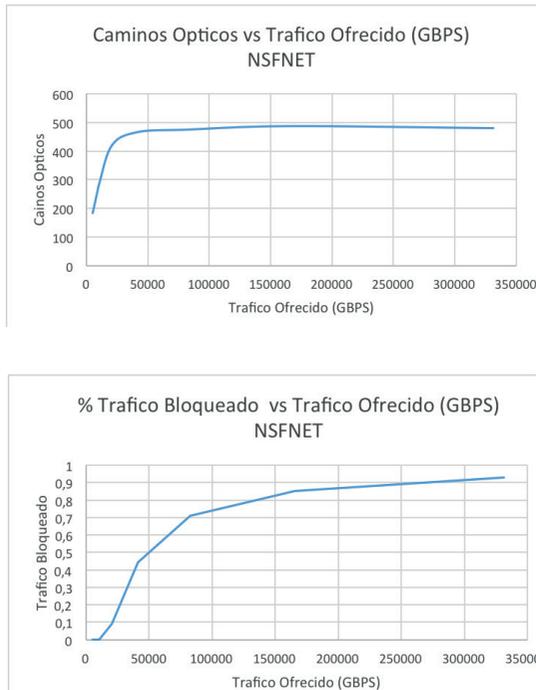


Ilustración 11 Caminos Ópticos vs Tráfico Ofrecido (GBPS) y % Tráfico Bloqueado vs Tráfico Ofrecido (GBPS) NSFNET  
Fuente: Creación Propia.

Con el algoritmo empleado en la simulación se logra la asignación de nodos llamados multiplexores ópticos de adición / descenso (OADM). Son capaces de añadir nuevos caminos ópticos iniciados en el nodo, terminar caminos ópticos en el nodo (Ilustración 11). Entonces, la señal óptica se regenera, mientras que su longitud de onda puede ser modificada. En el caso de la simulación de ejemplo los regeneradores ópticos se utilizan no para cambiar la longitud de onda en un nodo intermedio de un camino de luz, sino para regenerar la señal óptica recuperándola de su degradación normal causada por el ruido del canal y otros impedimentos.

Los datos de las graficas de la Ilustración 11 fueron tomados de los valores arrojados por NET2PLAN en cada una de las simulaciones realizadas con la misma topología aumentando el Tráfico ofrecido a la red.

## Conclusiones

Net2Plan presenta beneficios frente a otras herramientas debido a su fácil instalación y el entorno de desarrollo en Java con edición de librerías. La facilidad en la generación de reportes de acuerdo a lo arrojado por los algoritmos, siendo uno de los más importantes beneficios de esta plataforma.

Las herramientas de planificación de red de fuente abierta ayudaran principalmente a las áreas académicas a solucionar y promocionar la investigación y lograr desarrollos que apoyen a la industria. Net2Plan se presenta como un entorno completo para simular, analizar, dimensionar, optimizar y evaluar el rendimiento de los diseños de red.

El encaminamiento tiene un alto impacto sobre la probabilidad de bloqueo comparado con la asignación de longitudes de onda WA, esto si se dispone de fibras de 80 canales o mayores dependiendo de la técnica de modulación permitida por el simulador. Gracias a los beneficios del simulador NET2PLAN siendo una herramienta libre se puede aplicar Routing a una topología obteniendo resultados en pocas horas de desarrollo.

La función de costo del algoritmo de encaminamiento en la herramienta NET2PLAN, se adapta a la topología de red y características de transmisión concretas. Las estrategias adaptativas posibilitan la inclusión de criterios de carga de los enlaces en la función de los costos (Número de Saltos, Distancia en KM, Delay, etc). Esto es muy conveniente ya que en la simulación se evita la congestión de los enlaces y a consecuencia se disminuye la probabilidad de bloqueo.

Para la topología NSFNET, sin protección, el llenado del enlace más cargado se produce en torno a la petición 450; bajando hasta la petición 250 cuando hay protección (1+1). En paralelo, también el primer bloqueo de petición sufre un adelanto al pasar de la petición 493 a la 195; es decir, hay un empeoramiento del orden del 60%.

En cuanto a la primera petición rechazada se obtienen mejoras con respecto a funciones de costo fijo, que pueden oscilar entre un 20% y un 80%, dependiendo de la topología, mediante el empleo de una función de costo adaptativa que ejecute equilibrio de cargas.

La tecnología OTN permitió una gran flexibilidad en cuanto a señalización, monitorización y restauración

de red y parece lógico que la evolución de las redes sea la de transmitir paquetes IP directamente sobre WDM.

## De los autores

**Jorge Enrique Salamanca Céspedes:** Ingeniero Electrónico – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Especialista en telecomunicaciones móviles y Magister en teleinformática Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Estudiante Doctorado en educación, DIE Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente de planta asociado, adscrito al proyecto curricular de Ingeniería Electrónica, Facultad de ingeniería Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [jsalamanca@udistrital.edu.co](mailto:jsalamanca@udistrital.edu.co), y adicional a esto.

**Ing. Octavio José Salcedo Parra.** PhD. Doctor en Estudios Políticos – Universidad Externado de Colombia. Doctor en Ingeniería Informática - Universidad Pontificia de Salamanca, Campus de Madrid. DEA Universidad Pontificia de Salamanca, Campus de Madrid. Magister en Economía - Universidad de los Andes. Magister en Teleinformática - Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Ingeniero de Sistemas – Universidad Autónoma de Colombia. Profesor de Planta, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas” - Bogotá D.C. Profesor de Planta, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá D.C. Investigador Senior Colciencias. Director Grupo de Investigación “Internet Inteligente”, Clasificado Colciencias A.

## Referencias

- [1] I. Tomkos, S. Azodolmolky, D. Klondis, M. Aggelou, M. Margariti, “Dynamic impairment aware networking for transparent mesh optical networks: Activities of EU project DICONET”, in Proc. 10th IEEE ICTON 2008, pp. 6 – 12, June 2008.
- [2] M. Yuang, I. Chao, Bird Lo, P. Tien, W. J. Chen, Yu-min Lin, S. S. W. Lee, and Ching-yun Chien, “HOPSMAN: An Experimental Testbed System for a 10-Gb/s Optical Packet-Switched WDM Metro Ring Network”, IEEE Communications Magazine, vol. 47, pp. 158 – 166, July 2008.
- [3] R. Ramaswami, K.N. Sivarajan, “Optical networks: a practical perspective”, Academic Press, 2002.
- [4] B. Ramamurthy, et al., “Impact of transmission impairments on the teletraffic performance of wavelength-routed optical networks,” IEEE/OSA J. Lighthwave Technology, vol. 10. pp. 1713-1723, Oct. 1999.
- [5] J. F. Martins-Filho, C. J. A. Bastos-Filho, E. A. J. Arantes, S. C. Oliveira, L. D. Coelho, J. P. G. Oliveira, R. G. Dante, E. Fontana, F. D. Nunes, “Novel Routing Algorithm for Transparent Optical Networks Based on Noise Figure and Amplifier”, in Proc. IEEE IMOC2003, Sept 2003.
- [6] T. Deng, S. Subramaniam, “Source Power Management in Transparent Wavelength-Routed Mesh Networks”, in Proc. IEEE ICC’04, Jun 2004.
- [7] M. A. C. Lima, A.F.R. Araújo, A.C César, “Agregação Dinâmica de Tráfego em Redes Ópticas WDM Utilizando Algoritmo Genético”, in Proc. MOMAG’04, Aug 2004.

[8] I. E. Fonseca, M. R. N. Ribeiro, R. C. Almeida Jr., and H. Waldman, “Preserving Global Optical QoS in FWM Impaired Dynamic Networks”, IEE Electronics Letters, Vol. 40, pp. 191-192, Feb 2004.

[9] P. Kulkarni, et al., “Benefits of Q-factor based routing in WDM metro networks,” in Proc. ECOC 2005, Glasgow, U.K., Sept. 2005.

[10] Net2Plan – The open-source network planner [Online]. Available: <http://www.net2plan.com/>. Last accessed: April 1, 2015.

[11] R. Pablo Pavon Mariño, <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13791-matplanwdm-v0-5>, MatPlanWDM v0.5, 29 Jan 2007.

[12] HERNÁNDEZ w. y CHACÓN m., Utilización de herramientas software para el modelado y la simulación de redes de comunicaciones, volumen 5, número 11, Gerencia tecnológica informática, 2006, Santander, Colombia.

[13] The ns Manual, Colaboración entre los investigadores de la universidad de Berkley, LBL, USC/ISI y Xerox PARC, 2011, Pag. 406.

[14] Pallavi S. Katkar y Dr. Vijay R. Ghorpade, “Comparative Study of Network Simulator: NS2 and NS3”, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 6, Issue 3, March 2016.

[15] Yaniv Ben-Itzhak, Eitan Zahavi, Israel Cidon y Avinoam Kolodny2, “NoCs Simulation Framework for OMNeT++”, NOCS’11, Mayo de 2011.

[16] Sunghyun Yoon y Young Boo Kim, “A Design of Network Simulation Environment using SSFNet”, First International Conference on Advances in System Simulation, 2009.

[17] Sorout Dinesh y Goyal Sonal, “Qualnet Simulator”, International Journal of Information & Computation Technology, ISSN 0974-2239 Volume 4 pp. 1349-1354, 2014.

[18] Andrés Felipe González Carmona, Óscar Alejandro Pérez Marín, Ana Isabel Oviedo, Ferney Amaya Y Mario Yepes, “Simulador de enlaces SCM-WDM para redes tipo PON”, Revista en Telecomunicaciones e Informática, Vol. 1, No. 2 p. 75 – 95, Octubre de 2011

# Propuesta de un protocolo de comunicaciones manet entre robots móviles usando teoría de nodos

Roberto Ferro Escobar<sup>1</sup>  
Andrés Rodríguez Fonseca<sup>2</sup>  
Ricardo González<sup>3</sup>

## Resumen

Cada vez son más los ámbitos en que los robots realizan tareas y no solo trabajan como entes autónomos sino además son partes de un grupo de trabajo, por tanto en el presente documento se describe un protocolo de capa de aplicación para la planeación de rutas de entrega o movilidad de un producto entre robots móviles, sobre el estándar IEEE 802.11[1] modo AD-HOC.

## Abstract

There are more and more areas in robots perform tasks and not only work autonomous entities but also are part of a working group, so in this paper describes an application layer protocol for the planning of delivery routes or mobility of a product among mobile robots, Over the IEEE 802.11 standard AD-HOC mode.

Index Terms—Adhoc, MANET, protocolo, robots móviles.



1 rferro@udistrital.edu.co  
2 aarodriguezf@correo.udistrital.edu.co  
3 gonzalez.ricardo@fuac.edu.co

## Introducción

EL aumento de las funciones incorporadas en robots móviles como NAO [1] al agregar el estándar IEEE 802.11 conlleva a la creación de redes móviles MANET (Redes Móviles Ad Hoc), redes simples, inalámbricas y de uso temporal sin la necesidad de contar con infraestructura de red adicional a la ya incorporada por el robot [2].

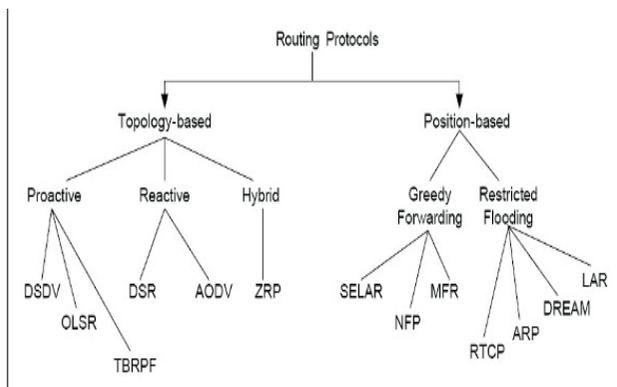


Fig. 1. Resumen de las clases y protocolos de redes ad hoc [5]

Lo que desde el punto de vista práctico, puede simular la comunicación humana con los beneficios que posee el estándar WiFi en modo Ad-Hoc como protocolos de acceso al medio, corrección de errores, encriptación de información y protocolos de enrutamiento para hacer llegar la información donde se necesite [3].

En el presente documento se describen algunos protocolos de enrutamiento necesarios para que los nodos móviles, en este caso los robots reciban o dirijan la información en caso de que no sea para este, al igual que un modelo de protocolo de capa superior encargado de controlar la información de posición y viabilidad de movimiento, con el cual cada nodo decide hacia donde debe dirigir la entrega física del producto.

## Protocolos de enrutamiento en Manet

Generalmente, hay dos etapas diferentes en el enrutamiento; que son descubrimiento de ruta y de reenvío de datos. En el descubrimiento de ruta el destino se encuentra mediante la difusión de la consulta. Una vez se ha establecido la ruta, el envío de datos se inicia a través de las rutas que se han determinado. Los nodos que reciben la consulta la difunden a todos los vecinos, por tanto se transmite gran número de mensajes de control. Lo cual se complica aún más si los nodos se mueven y nuevas rutas deben ser recalculadas. [4]

Los protocolos de enrutamiento se dividen en dos grandes categorías “Topology-based” y “Position-based”. Los cuales hacen referencia a la topología de red, con base a la información de los enlaces de la red y la información física acerca de los nodos participantes, respectivamente [5].

Los protocolos o algoritmos de enrutamiento basados en la topología a su vez se dividen en proactivos, reactivos o híbrido.

**Proactivos:** Esta clasificación hace referencia a la capacidad de mantener actualizadas las tablas de enrutamiento a través de envíos de paquetes en intervalos de tiempo fijos, lo cual es bueno al tener disponibles rutas en todo momento, pero la desventaja está en invadir el ancho de banda del canal.

**Reactivos:** Invocando un procedimiento para determinar el correcto direccionamiento sólo en el momento en el que el paquete deba efectivamente transmitirse. De este modo, se reduce el tráfico de señalización en detrimento de un aumento de los tiempos de entrega [5].

**Híbrido:** Como dice su nombre, busca unir las ventajas de ambos protocolos precedentes, limitando la aplicación de algoritmos proactivos sólo a los nodos adyacentes del que quiere transmitir.

Por su parte los protocolos basados en la posición física se dividen en reenvío codicioso e inundación restringida.

**Reenvío codicioso:** Serán seleccionados los nodos que tienen el mejor progreso y el paquete de datos se remitirán a estos nodos. Idealmente, este proceso se repite hasta que el paquete llegue al destino, cabe destacar que no hay descubrimiento de ruta en el reenvío codicioso.

**Inundación restringida:** Para mitigar el problema de broadcast sólo unos nodos en la dirección del destino participará en el descubrimiento de ruta hasta que se encuentra la ruta de destino. La participación de los nodos de enrutamiento optimizará la radiodifusión en MANET. Inundación restringida transmite mensajes a un número seleccionado de nodos que es por lo general, los que se encuentran más cerca del destino. Esto reduce significativamente no sólo el consumo de energía, sino también la probabilidad de colisiones de paquetes [4].

## Métricas en protocolos aplicables a MANET

Las métricas son parámetros de comparación que posibilitan la elección de la ruta más conveniente para la transmisión de los datos. Las más utilizadas son las métricas basadas en la topología de la red y aquellas que se basan en la utilización de mediciones de sondeo activo.[6]. A continuación se describen:

**Número de saltos:** Su facilidad de implementación ha hecho que sea la métrica más utilizada en cualquier tipo de red. Cada enlace cuenta como una unidad, y el peso del trayecto es igual al número total de nodos que se encuentren en este. El fundamento para minimizar la métrica del número de saltos es sencillo. Menos saltos en la ruta de datos deben implicar una menor demora, un mayor throughput y menos desperdicio de recursos de red sin importar las características técnicas de enlace [7].

**Signal Strength:** La intensidad de señal se ha utilizado como métrica de calidad del enlace en varios esquemas de direccionamiento inalámbricas en malla. La hipótesis es: Se recibe un paquete con éxito cuando la potencia de la señal supera un cierto valor umbral, la potencia de la señal podría ser vista como un buen indicador de la calidad del enlace. Las tarjetas de red inalámbricas básicas proporcionan un valor de intensidad de señal media recibida por cada paquete recibido con éxito. Los valores de intensidad de señal se han utilizado en el enrutamiento de dos maneras diferentes:

- Como parámetros de control para la exclusión de rutas con “mala” calidad del enlace.
- Como métrica de enrutamiento convencional, en la función de coste se toma como uno de los parámetros de entrada la intensidad de la señal [7].

**Round Trip Time (RTT) por Salto:** Esta métrica refleja la demora bidireccional en un enlace. Para poder medir el RTT, se envía periódicamente a cada nodo vecino un paquete de sondeo con un valor de timestamp, el cual cada nodo retorna inmediatamente. Esta respuesta posibilita que el nodo emisor calcule el valor de RTT. La métrica de trayecto RTT es simplemente la suma de cada uno de los valores de RTT estimados en cada enlace de la ruta. Esta es una métrica dependiente de la carga, ya que abarca las colas, la contención del canal y las demoras de retransmisión. Además de la sobrecarga de la red relacionada al envío de paquetes de sondeo, la desventaja de emplear RTT como métrica de enrutamiento es que puede llevar

a una inestabilidad de la ruta (fenómeno de auto-interferencia) [7].

**ETX (Expected Transmission Count):** Es una de las pocas métricas que se han implementado en la práctica. ETX estima el número requerido de transmisiones (incluyendo las retransmisiones) para enviar un paquete a través de un enlace. Minimizar el número de transmisiones no solo optimiza el throughput general de la red, sino que también minimiza el consumo total de energía y la interferencia resultante. Si  $df$  es la razón de entrega de paquetes hacia adelante y  $dr$  la razón de entrega en reversa (por ejemplo, la probabilidad de que la confirmación de un paquete sea transmitida satisfactoriamente), entonces la probabilidad de que un paquete arribe y sea confirmado correctamente es  $df \times dr$ , quedando definida la métrica ETX como:

$$ETX = \frac{1}{df \times dr} \quad (1)$$

Las razones de entrega son calculadas utilizando paquetes de sondeo de capa de enlace enviados por difusión. El valor de ETX para una ruta se define como la suma de los valores de las métricas de los enlaces que conforman esa ruta. Las principales ventajas de la métrica ETX son su independencia con respecto a la carga del enlace (inmune al fenómeno de auto-interferencia) y que toma en cuenta los enlaces asimétricos. Las desventajas esenciales de la métrica ETX es la sobrecarga de la red debido a la transmisión de los paquetes de sondeo y que esta sólo es relevante para las interfaces de radio que realizan retransmisiones.[7]

**ETT (Expected Transmission Time) y WCETT (Weighted Cumulative Expected Transmission Time):** La métrica ETX no es óptima bajo algunas circunstancias, por ejemplo, ETX preferirá enlaces altamente congestionados a enlaces libres si la razón de pérdida de paquetes de los enlaces congestionados es menor que la de los enlaces libres, y esto no es deseable. Para afrontar esta dificultad se propuso la métrica ETT, que incorpora el throughput a sus cálculos. Esta métrica depende del tamaño del paquete de sondeo, del ancho de banda medido en un enlace y de la propia métrica ETX.

Como muchas tecnologías inalámbricas, incluyendo WiFi, proveen múltiples canales sin solapamiento, se ha propuesto una adaptación de la métrica que toma en cuenta el uso de múltiples canales, denominada Weighted Cumulative ETT (WCETT). Esta métrica utiliza un parámetro ajustable para balancear los

pesos, y un número que representa el número de veces que el canal es utilizado o se ha experimentado interferencia intra-flujo en ese canal. WCETT define un menor costo para las rutas que utilizan canales más diversificados con menos interferencia intra-flujo [7].

MIC (Metric of Interference and Channel switching): La métrica MIC supera a la métrica WCETT al abordar el problema de las interferencias intra-flujo e inter-flujo. Está basada en el valor mínimo de ETT en la red, el uso de la interfaz de radio y el costo de la conmutación de canal. MIC depende específicamente de los parámetros IRU (Interference-aware Resource Usage) y CSC (Channel Switching Cost). La métrica MIC provee un mejor rendimiento debido a que considera las interferencias intra y extra-flujo y la diversidad de canal. La principal desventaja es la elevada sobrecarga que se necesita para estimar el valor de la métrica para cada ruta. Otras desventajas son que cada nodo debe conocer el total de nodos en la red, lo que puede ser muy costoso en redes de gran tamaño, y que el rango de interferencia es siempre mucho mayor que el rango de transmisión [7].

### Protocolos más usados

#### Proactivos:

DSDV: Destination-Sequenced Distance Vector.  
OLSR: Optimized Link State Routing.

TBRPF: Topology broadcast based on reverse-path forwarding.

BATMAN: Better Approach to Mobile Ad hoc Networking

DREAM: Distance Routing Effect Algorithm for Mobility[6]

#### Reactivos:

AODV: Ad hoc On demand Distance Vector routing.  
DSR: Dynamic Source Routing.

#### Híbridos:

ZRP: Zone Based Routing Protocol.

#### Reenvío codicioso:

SELAR: Scalable energy-efficient location aided.

NFP: Nearest Forward Progress.

MRF: Most Forward within Radius.

#### Inundación restringida:

RTCP: Real-Time Transport Control Protocol.

DREAM: A distance effect algorithm for mobility.

LAR: Location-Aided Routin

### Necesidades de enrutamiento de la aplicaciones

Las topologías que puede describir la red de robots móviles son demasiadas y dependen de los grados de libertad que pueda tener el robot, por lo cual pensar en un protocolo proactivo es gastar mucho ancho de banda en actualizaciones de rutas cada vez que los robots se desplacen.

Por lo cual se elige el protocolo reactivo AODV como protocolo de enrutamiento sobre a red AD-HOC.

### Análisis de protocolos AODV

#### Protocolo AODV (Ad-Hoc On DemandDistance Vector)

Es un protocolo de encaminamiento IP basado en DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector) y DSR(Dynamic Source Routing) [8] que permite a un nodo encontrar y mantener rutas hacia otro nodo la red. AODV es on-demand, o reactivo, en el sentido de que las rutas se establecen sólo cuando se necesitan (cuando la estación origen quiere transmitir datos a un destino). Las decisiones de encaminamiento se hacen usando vectores distancia, es decir distancias medidas en saltos a todos los nodos disponibles. El protocolo soporta unicast y broadcast. Dicho protocolo esta descrito en RFC 3561 [9].

Cada estación mantiene un número de secuencia que guarda un timestamp, y una tabla de encaminamiento que contiene rutas hacia los destinos. Los números de secuencia se usan para determinar si una ruta es actual (cuanto mayor sea el número, más actualizada está la ruta; el más antiguo puede descartarse) y con ellos el protocolo se asegura de que no hay bucles. Cada entrada de la tabla contiene la dirección del siguiente salto (siguiente nodo hacia el destino), un contador de saltos (número de saltos hacia el destino) y un destination sequence number. Ya que es un esquema de vector-distancia on-demand, los nodos mantienen las distancias de aquellos destinos con

los que necesitan contactar o transmitir información. Cada ruta activa se asocia con un tiempo de vida almacenado en la tabla; cuando este tiempo finaliza, la ruta se marca como inválida y después se borra de la tabla para no sobrecargarla. AODV usa dos procedimientos principales, el descubrimiento de rutas y el mantenimiento de rutas [10].

### Descubrimiento de rutas:

Si el nodo fuente necesita una ruta a un destino, envía por broadcast un mensaje ROUTE REQUEST (RREQ). Cada nodo también guarda un identificador de broadcast que, junto con la dirección IP del origen, identifica unívocamente a un RREQ. Cada vez que el emisor emite un RREQ, incrementa en uno su identificador de broadcast y el número de secuencia. Además, almacena este RREQ durante un tiempo PATH DISCOVERY TIME (PDT), y así no lo vuelve a procesar si un vecino se lo envía de vuelta. El emisor espera durante un tiempo NET TRAVERSAL TIME (NETT) a que le llegue un mensaje ROUTE REPLY (RREP). Si no se recibe un RREP durante este tiempo, volverá a mandar por broadcast otro RREQ hasta un número de veces RREQ TRIES. Con cada intento adicional, el tiempo de espera (NETT) se duplica.

Cuando una estación recibe un mensaje RREQ que no ha visto con anterioridad, configura una ruta de vuelta a la estación de la que proviene el RREQ. Esta ruta de vuelta tiene un valor de tiempo de vida ACTIVE ROUTE TIMEOUT (ART). La entrada en la tabla correspondiente a la ruta de vuelta se almacena con la información de la dirección de destino requerida. Si la estación que recibe este mensaje no tiene una ruta al destino, reenvía por broadcast el RREQ. Cada estación guarda el número de saltos que ha hecho el mensaje y también qué estación ha reenviado el RREQ. Si una estación recibe un RREQ que ya ha procesado, lo descarta y no lo reenvía.

Si una estación tiene una ruta a un destino, contesta enviando por unicast un mensaje RREP a la estación de la que recibió el mensaje de petición. Como el RREP se propaga de vuelta a la estación fuente, las estaciones configuran punteros hacia el destino. Cuando la estación fuente recibe el RREP, la ruta se ha establecido y los paquetes de datos pueden enviarse al destino. Opcionalmente, la estación origen puede emitir un mensaje RREP-ACK al destino para asegurarse de la fiabilidad del camino bidireccional.

### Mantenimiento de rutas:

La función del mantenimiento de rutas es proporcionar un feedback al sender en caso de que un nodo o un enlace se rompa, y así la ruta puede modificarse o redescubrirse. Una ruta puede dejar de funcionar simplemente porque uno de sus nodos se mueva. Si se mueve un nodo fuente, debe informar a todos los vecinos que necesiten este salto. Este mensaje se reenvía a todos los otros saltos y la ruta obsoleta se borra. El nodo origen debe descubrir una nueva ruta.

Una forma para que una estación guarde información de sus vecinos es usando mensajes HELLO. Estos se envían periódicamente para detectar fallos en los enlaces. Cuando se recibe una notificación de enlace roto, la estación fuente puede reiniciar el proceso de descubrimiento de rutas. Si hay un enlace roto, puede enviarse por broadcast un mensaje ROUTE ERROR (RERR) a la red. Cualquier nodo que recibe el RERR, invalida la ruta y reenvía por broadcast los mensajes de error con el destino inalcanzable a todos los nodos de la red [10].

### Modelo de protocolo de capa superior para la planeación de rutas de entrega usando teoría de nodos.

La decisión de cuál es la mejor vía que debe seguir el producto físico, está gobernada por la valoración que se le da a las mismas, dicha valoración debe obedecer a las características en particular, que solo exige una aplicación específica, sin embargo desde el punto de vista práctico puede reducirse a solo dos posición física del robot y la posibilidad de entregar el producto a su robot vecino, lo cual se denomina como métrica.

### Métrica de posición física del robot

Desde el punto de vista de la topología geométrica la forma en que se divida el campo no tiene mayor trascendencia dado que no es necesaria una división muy fina del campo, ya que las decisiones que se tomen en diferencias de decenas de centímetros serán las mismas. Por lo cual el campo de acción del conjunto de robots puede ser dividido de forma regular o no, como se observa en la figura 2. Dicha posición será anunciada por el robot como una zona de ubicación del mismo.

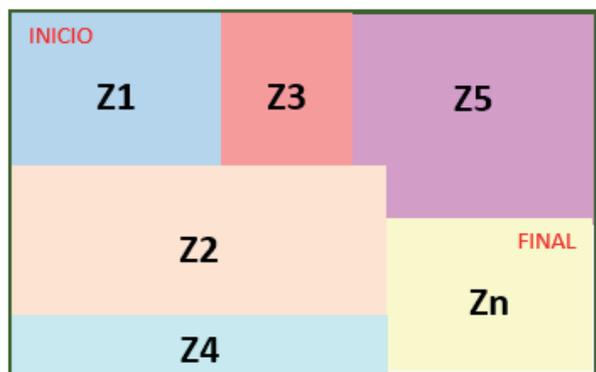


Fig. 2. División del campo de trabajo en espacios topológicos.[11]

Tomando como base la teoría de nodos las figura 2 muestra un grafo que se puede representar como en la figura 3.

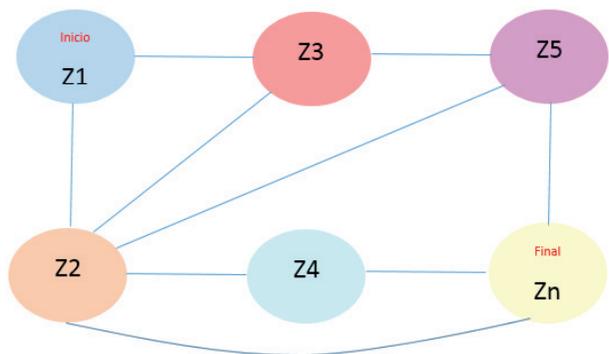


Fig. 2. Grafo que representa los cambios entre zonas de ubicación [12].

Donde los nodos son las posiciones físicas de los robots es decir la zona de ubicación y las aristas estarán valorados por la métrica de posibilidad de movimiento.

**Métrica de posibilidad de movimiento:**

El protocolo contempla el movimiento físico de un producto o bien que este manipulando el robot, buscando al robot más cercano o con mayor posibilidad de movimiento, es decir que se pueda desplazar sin tener obstáculos.

Por lo cual la métrica de movimiento hace referencia a que tan obstruido está el espacio en que se debe desplazar y será el valor que acarreará la arista del grafo.

**Modelo funcional del protocolo:**

Protocolo calculara la ruta optima al implementar el grafo de forma lógica y darle valor a las arista basado en la información publicada por los robots que conforman la red Ad-Hoc.

Para el cálculo de la ruta optima el protocolo usa el algoritmo matemático de Dijkstra [13]. Cuya entrada es el grafo previamente determinado.

Cada robot está en la capacidad de y necesidad de correr el protocolo cuando le llega el producto que debe desplazar o entregar.

**Diagrama de Flujo**

Los pasos a seguir por el protocolo se describen a continuación y se representan en la figura 3 diagrama de flujo del protocolo.

Cuando el robot tiene en su poder el producto, solicita la ubicación y posibilidad de movimiento de cada robot.

A medida que el robot recibe la información de cada miembro de la red, la va almacenando en tablas de ruta y acusa el recibido de la misma al respectivo robot.

Cuando se posee toda la información el protocolo hace el grafo de red y corre el algoritmo del camino óptimo calculando el movimiento o a que robot debe entregar la carga, para que dicho robot repita el proceso.

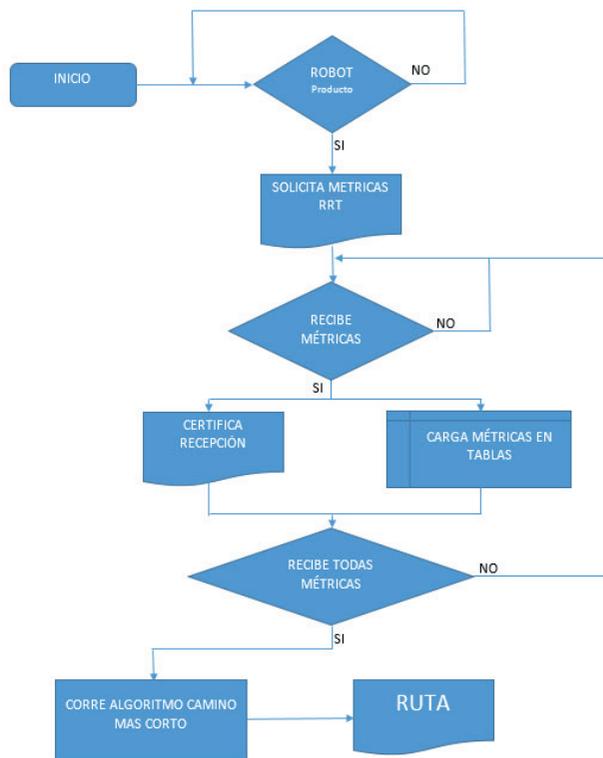


Fig. 3. Diagrama de flujo de protocolo.

## Conclusiones

El protocolo propuesto simula la interacción humana en la toma de decisiones grupales, ya que espera retroalimentación del grupo y con base en ella decide. La aplicación de la teoría de nodos a sistemas de movimiento facilita la toma de decisiones, dado que no exige medidas de posición exactas.

La teoría de grafos modela procesos de movimiento sin tener en cuenta medidas exactas, para la toma de decisiones de desplazamiento, en cambio procesa las cualidades del sistema.

Sin un protocolo de comunicación para el desarrollo de una tarea, nos es posible que entes autónomos se comporten como un equipo. La evaluación del protocolo exige que sea programado en simuladores como NS-2, donde se puede simular la red Ad.Hoc, el movimiento de los robots con posición y velocidad de desplazamiento, además puede ser programado el protocolo de capa superior mostrando los paquetes que intercambian los robots y la toma de decisiones.

## Referencias

- [1] B. Maisonnier, "Who is NAO?," <https://www.aldebaran.com/en/humanoid-robot/nao-robot>, 2015. [Online]. Available: <https://www.aldebaran.com/en/humanoid-robot/nao-robot>.
- [2] S. Corson and J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," *Comput. Syst.*, vol. 54, pp. 1–12, 1999.
- [3] R. Piermattei and B. Garcia, "Análisis de los protocolos de ruteo OLSR y AODV en redes Ad-Hoc IBSS.," *Análisis los Protoc. ruteo OLSR y AODV en redes Ad-Hoc IBSS.*, pp. 620–630, 2012.
- [4] I. Chlamtac, M. Conti, and J. J. N. Liu, "Mobile ad hoc networking: Imperatives and challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 1, no. 1, pp. 13–64, 2003.
- [5] A. Rahman and Z. Zukarnain, "Performance comparison of AODV, DSDV and I-DSDV routing protocols in mobile ad hoc networks," *Eur. J. Sci. ....*, vol. 31, no. 4, pp. 566–576, 2009.
- [6] W. Coya, Lucy & Ledesma, Talia & Garcia, "SELECCIÓN DEL PROTOCOLO DE ENRUTAMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MANET ROUTING PROTOCOL," *Convección Cient. Ingeniería y Arquít.*, pp. 1–11, 2014.
- [7] R. B. Georgios Parissidis, Merkourios Karaliopoulos and B. P. Thrasyvoulos Spyropoulos, *Routing Metrics for Wireless Mesh Networks*. Paris, 2009.
- [8] M. Abolhasan, E. Dutkiewicz, and T. Wysocki, "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 2, no. 1, pp. 1–22, 2004.
- [9] C. & B. E. & D. S. Perkins, "RFC 3561," *Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing*, 2003. [Online]. Available: [www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt](http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt).
- [10] F. J. H. Pastor, "Estudio de viabilidad de la utilización de redes inalámbricas Ad-Hoc en edificios departamentales," p. 19, 2008.
- [11] F. Martin, P. Barrera, G. De Rob, U. Rey, and J. Carlos, "Localización topológica basada en visión para robots móviles," *XXVII Jornadas de Automática*, vol. ISBN: 84–6, 2006.
- [12] M. Farber, "TOPOLOGY OF ROBOT MOTION PLANNING Michael Farber University of Durham," no. 1987, 2005.
- [13] N. Coulter, "Dijkstra algorithm as a route SPF TCL implement," *Wiki TCL*, 2013. [Online]. Available: <http://wiki.tcl.tk/38547>.

## De los autores

**Roberto Ferro Escobar.** Ingeniero electrónico y magister en Teleinformática de la universidad Distrital Francisco José de Caldas, Doctor en informática de la UPSAM. Docente de carrera en la universidad Distrital Francisco José de Caldas.

**Andrés Rodríguez.** Ingeniero electrónico de la universidad Distrital Francisco José de Caldas. Estudiante maestría en ciencias de la Información y las comunicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 8 años de experiencia en el sector de las telecomunicaciones y 2 años en la docencia universitaria.

**Ricardo Alirio González Bustamante:** Ingeniero Electrónico, Master en Teleinformática, Estudiante de Doctorado. Docente Investigador de la Fundación Universidad Autónoma de Colombia. Director de la Especialización en Telecomunicaciones Facultad de Ingeniería Electrónica. [gonzalez.ricardo@fuac.edu.co](mailto:gonzalez.ricardo@fuac.edu.co)

# El territorio desde la mirada interdisciplinaria de un ingeniero profesional de las ciencias de la tierra

Edier Hernán Bustos Velazco<sup>1</sup>  
Adela Molina Andrade<sup>2</sup>  
Horacio Bozzano<sup>3</sup>



## Resumen

En este artículo, se presentan resultados parciales de una investigación doctoral, un modelo de concepción de territorio, que surge de la interpretación a una entrevista semiestructurada transcrita en Atlas ti, aplicada a profesores(as) formadores de profesionales de las ciencias de la tierra; el nombre original del participante se han modificado, de acuerdo con lo establecido en los protocolos de investigación para estos casos. Las categorías de análisis emergen como resultado de revisiones a investigaciones en el tema territorial, así se caracterizan cuatro dimensiones relacionadas con la concepción de territorio, como (SF) Súper Familias o dimensiones: Construcción Social (SF-CS), Jurídico-Política (SF-JP), Ambiental (SF-A) y Espacio Físico (SF-EF). Las Súper familias, que se especifican con sus correspondientes familias (F) y códigos (C), permiten encontrar los modelos de concepciones los profesores, profesionales de las ciencias de la tierra (PCT).

## Palabras clave

Territorio, concepciones, ingenieros (profesores).

## Abstract

Present In this article partial results of a doctoral research, a model of conception of territory, which arises from the interpretation of a semistructured interview transcribed in Atlas ti, you applied to teachers (as) forming professionals sciences earth are presented; the original name of the participant have been modified in accordance with the provisions of research protocols for these cases. The categories of analysis emerge as a result of revisions to research in the territorial issue, emerge four dimensions related to the concept of territory, as (SF) Super Families or dimensions are characterized; Social Construction (SF-CS), Legal and Policy (SF-JP), Environmental (SF-A) and Physical Space (SF-EF). The Super families, which are specified with their families (F) and codes (C), allow to find models conceptions teachers, professionals earth sciences (PCT).

**Key words:** Territory, conceptions, Ingeniros (teachers)

<sup>1</sup> edierhernan1@gmail.com

<sup>2</sup> mara.gracia@gmail.com

<sup>3</sup> bozzano59@gmail.com

## Introducción

En este artículo presentamos un modelo de concepción de territorio, como resultado de la interpretación de la entrevista semiestructurada (fase cualitativa), realizada mediante situaciones reales y situaciones hipotético imaginarias [1] a un profesor (Ingeniero) formador de profesionales de las ciencias de la tierra; en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, mas específicamente en la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales (FAMARENA). La concepción de Pedro (nombre que le hemos asignado al profesor) responde a una entrevista semiestructurada, diseñada desde la teoría de situaciones, [1] basados en el trabajo de Adela Molina y Otros, retoman aspectos relacionados con el quehacer del profesional de las ciencias de la tierra desde su práctica profesional y desde su ejercicio académico como formadores de futuros profesionales de las ciencias de la tierra. Las categorías de análisis emergen como resultado de revisiones previas y del proceso de triangulación realizado en la interpretación de las entrevistas transcritas en el software Atlas ti; así se caracterizan cuatro dimensiones relacionadas con la concepción de territorio, como se expone en el proceso metodológico en (SF) Súper Familias o dimensiones: Construcción Social (SF-CS), Jurídico-Política (SF-JP), Ambiental (SF-A) y Espacio Físico (SF-EF), permiten encontrar los modelos de concepciones los profesores, profesionales de las ciencias de la tierra (PCT).

El modelo construido y analizado guarda estrecha relación con la formación, el contexto socio cultural y el ejercicio docente de Pedro, para quien el territorio guarda importancia con el espacio físico (SF-EF) y sus atributos, complementa su concepción con la normatividad (SF-JP) específicamente aquella relacionada con el reconocimiento de la diversidad cultural y la defensa del territorio ancestral, no distante por las implicaciones ambientales (SF-A) se preocupa por el impacto antrópico causado por la ejecución de proyectos de infraestructura y explotación minera. No obstante Pedro va más allá del espacio físico y sus propiedades; centra su atención en las relaciones entre los seres humanos, que por las interacciones y tensiones que establecen, validan elementos que generan identidad con el espacio habitado (SF-CS).

Como se mencionó en Bustos [2] en materia de concepciones de territorio presentes en profesores, este artículo, pretende determinar un modelo en las concepciones de territorio de docentes universitarios Ingenieros (PCT) no formados en docencia y que a su vez son formadores de (PCT), motivo por el cual cobran peso en el análisis sus particulares contextos cultural, social y territorial, así como sus

creencias e ideas acerca de los territorios donde viven. Concepciones arraigadas con los rasgos más salientes de procesos de organización territorial. Para ello retomamos la Teoría Social Crítica del Espacio de Milton Santos [3] La Naturaleza de Espacio [4], así como las producciones posteriores en Horacio Bozzano [5] y [6].

## Métodos

Dada la naturaleza del problema, los aspectos metodológicos de la investigación la sitúan en el campo de la enseñanza de las ciencias, acorde a la perspectiva cultural a partir de Gertz [7] que asume el grupo de investigación del doctorado interinstitucional en educación INTERCITEC, a la luz de los trabajos desarrollados por Adela Molina Andrade [1] y Venegas [8]. Así, la metodología sigue enfoques cualitativos y cuantitativos; en este sentido se preocupa por estudiar las diferentes concepciones que a la luz de la propuesta de Rodrigo, Rodríguez y Marrero [9] que de forma integrada tienen los profesores. La metodología, dirigida a la elaboración de teorías implícitas, en donde los presupuestos y creencias determinan las ideas, representaciones y concepciones tanto de profesores como de estudiantes, como las señaladas por Utges y Pacca (2003), citada por Molina y Otros [1] quienes indican que la metodología es *“de gran utilidad para sistematizar datos de un número grande de individuos y precisar los trazos dominantes de las representaciones, así como para contrastar las mismas con el pensamiento individual”*. Así tratar las teorías implícitas implica reconocer que el individuo no construye sus representaciones solo, por el contrario estas representaciones están relacionadas con las diferentes características culturales del grupo al que pertenece.

## Resultados

Ilustración 1 Modelo de territorio del profesor Pedro.

## Discusión

### Modelo de Pedro

Ingeniero Forestal con maestría en desarrollo sustentable, con más de 10 años de experiencia como profesor universitario y 20 años de experiencia profesional. Nació en Facatativá Cundinamarca y vivió allí hasta los 17 años, egresado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, reconoce que el territorio donde vivió (Facatativa) su niñez y adolescencia *“[...]era mucho más rural, menos denso en actividades industriales y tenía lo clásico de lo urbano, de la municipalidades del siglo*

*IXX y XX, particularmente del área de donde yo vengo, es un zona productora de flores [...]” [Pedro, (6)]*

Afirmación que nos muestra el grado de compenetración que tiene Pedro con la ruralidad y el sentido de sinergia con contextos biogeográficos, en donde específicamente la flora hace parte de su relación territorial. Cabe reconocer la economía del municipio de Facatativa está distribuida entre; la minería, la producción de silvicultura, producción agrícola, floricultura, ganadería y baja industrialización, lo que hace de este territorio un espacio de interacción entre el hombre y la ruralidad, entendida por como aquella en la que se:

(...) adquiere nuevas dimensiones y por ende, las relaciones sociales que se establecen con el mismo cambian. A su vez, este cambio en el vínculo con el territorio, conlleva al cambio del propio relacionamiento entre los individuos, trocando de esta manera las relaciones sociológicas que imperaban hasta ayer y renovándolas hoy en nuevas formas de pensar, de sentir y de actuar frente al medio que nos rodea y frente a nuestros semejantes con los cuales convivimos. Frente a esta perspectiva, adquiere nuevos significados [10], (p.12)

La relación que tiene Pedro con el territorio vivido durante su niñez y adolescencia, se conjuga con su formación profesional, caracterizando una concepción particular de territorio en donde emergen diferentes dimensiones que se articulan y dan sentido como veremos en la Ilustración 1, la concepción de territorio que tiene Pedro, se asocia a la relación que tienen los seres humanos con el espacio habitado, como es entendido por investigadores como; Milton Santos, De Sousa, Bozzano; en tal sentido emergen lo que hemos denominado en esta investigación como dimensiones (SF-Construcción Social, SF-Ambiente, SF-Espacio Físico, SF-Jurídico-Política) que se entrelazan con códigos para configurar una dimensión ó superfamilia de investigación que alrededor del territorio configuran toda una estructura que desde la complejidad invita a analizar un tejido de construcciones heterogéneas, como se observa en la Ilustración 1.

### Dimensión Construcción Social

La SF-construcción social del territorio está determinada por la relación que existe entre (C) contexto, (C) usurpación, (C) violencia,

(C) desterritorialización, (C) cosmovisión, (C) desarraigo, (C) identidad, (C) historia, (C) cultura y (C) comunidad. Por lo que Pedro al hablar de la comunidad destaca que deben existir dos aspectos de suma importancia, “[...] para la construcción de planos de negociación para crear mecanismos de participación y partir de un conflicto entre lo local y lo global; para constituir ese plano de negociación, se crean unos mecanismos para que participen los actores” [Pedro, (23)]

Aspectos que permiten entrar a planos de construcción social de un territorio, que de acuerdo con Adela Molina, [11] y El-Hani y Mortimer, [12], de manera articulada se tenga en cuenta a todas las esferas de la comunidad [6]; afectadas en muchos casos por la violencia vista desde aspectos que influyen en sus formas de participación, que en la Bogotá actual podría verse como ese espacio de convergencia de diversidad cultural, dado que confluyen mestizos, comunidades afrodescendientes, rom y resguardos de los muisca como pueblo originario en las localidades de: Suba, Bosa, Engativá y Rafael Uribe Uribe. Así, se estima que en la actualidad en Bogotá residen cerca de 22.000 indígenas, de los cuales cerca del 60% pertenecen a la familia Muisca, los otros son comunidades desplazadas mayormente por el conflicto armado, como los Embera Katío, Embera Chamí, Nasa, Sikuani, Guambiano, Kankuamo, Uitoto; sin contar con las comunidades indígenas que vienen de Ecuador, México, Perú y Bolivia.

Al referirse a la cultura, destaca para el caso de las comunidades ancestrales, una revisión de los territorios indígenas que debe pasar por filtros muy fuertes, que hacen necesario entrar a ver las estrategias que permiten la subsistencia de las comunidades, como lo manifiesta Pedro cuando afirma:

Para que las comunidades subsistan debe existir una adaptación de sus estrategias, que están dadas por la significancia de los recursos naturales y que a pesar de las tensiones vamos a encontrar adaptabilidad, conflictiva o no conflictiva, sin embargo, siempre estará de por medio, el concepto del territorio, como el ámbito vital de una cultura y de una comunidad. [Pedro, (41)]

De acuerdo con las miradas de Nates y Raimond [14] y Haesbaert [15] el desplazamiento forzado es aberrante, las familias se vuelven disfuncionales, aumentan los cordones de miseria y con ello la violencia, las familias son abusadas por la delincuencia común y los jóvenes pasan a ser parte de las pandillas y el micro tráfico. Así, para Pedro:

[...] el desplazamiento forzado es un fenómeno histórico no se puede explicar de una forma unilateral, el desplazamiento forzado de los 50, no es el mismo que el de los 90, los actores que generan esto cambian y se transforman; es fundamental que exista una política de Estado que disminuyan este fenómeno, un elemento muy triste, mmmm, por ejemplo, ver a los indígenas pidiendo limosna en las calles de Bogotá. [Pedro, (31)]

Lo anterior muestra la importancia que Pedro le da a la relación que tiene la cultura con el territorio habitado, como escenario que brinda significancias con el entorno, lo que permite una construcción social de sus territorios y que al ser abandonados abruptamente, genera en incertidumbre y falta de identidad.

### Dimensión Ambiente

Al referirse Pedro al territorio como campo ambiental, se remite a lo complejo de los conflictos multifactoriales en el territorio, en donde de acuerdo con Leff [16] y Escobar [17], la sustentabilidad tiene diferentes matices, que entran en tensiones constantes por el uso del suelo en virtud de esto, Pedro considera cada una de ellas como desarrollo, señala desde su quehacer docente y ejercicio profesional dos aspectos relevantes:

- El primero de ellos relacionado por las tensiones entre colonos e indígenas en donde señala desde su experiencia profesional al dirigir un proyectos sobre prácticas sustentables de las comunidades indígenas y plantea las limitaciones frente al conocimiento ancestral sobre como escogían la tierra para su subsistencia, como la trabajaban, estos son factores que están definidos por su medio cultural y que no son compartidos con los colonos
- El segundo referida a la capacidad de adaptabilidad al cambio que deben tener las comunidades para no perecer culturalmente, Así, la supervivencia de las comunidades dependen de una *“adaptación y de sus estrategias, esas están dadas por la significancia de los recursos naturales, a pesar de las tensiones vamos a encontrar adaptabilidad, conflictiva o no conflictiva, sin embargo, siempre estará de por medio, el concepto del territorio, como el ámbito vital de una cultura y de una comunidad”* [Pedro, (41)]

Al manifestar Pedro que existe un impacto en el territorio por las acciones del uso del suelo en el territorio, está haciendo una invitación a toda la comunidad a revisar investigaciones como las realizadas por Olivero y Otros [18], quienes especifican los impactos negativos que en Colombia tiene para el ambiente y la salud humana acciones de producción y explotación minera; en el primero de los casos, efectos por la minería carbonífera y en el segundo, la ganadería en sitios de páramo.

Para Pedro, en el campo ambiental interactúan aspectos socio culturales relacionados con el ambiente y las diferentes posibilidades de uso y conservación, en donde las tensiones se hacen evidentes por las ambiciones que cada actor tenga y su concepción de sostenibilidad o sustentabilidad, es aquí en donde emerge el campo de poder jurídico como elemento de mediación en las discusiones territoriales.

### Dimensión Jurídico-Política

Al abordar esta dimensión, Pedro reconoce que las entidades del Estado deben partir del conocimiento de los territorios, de las situaciones de sus habitantes, de las tensiones generadas por las injusticias sociales, para el caso colombiano, *“[...] las situaciones se agudizan por la incapacidad de control y vigilancia que tiene el estado en relación con el espacio en donde cohabitan diferentes culturas”*. [Pedro, (39)] Entendido así, la estructura del Estado esta planteada por visiones neo estructuralistas y neocorporacionistas, intereses económicos relacionados con la explotación de los recursos que poseen los territorio a expensas de las comunidades. Como lo manifiesta Pedro cuando afirma: *“los latifundistas y multinacionales en este país reciben beneficios por parte de los gobiernos de turno a expensas de las comunidades, usurpando con artificios legales los territorios construidos socioculturalmente”* [Pedro, (49)] Esta idea la podemos relacionar con la emanada por Semper (2006), en donde manifiesta que la comunidad es la menos beneficiada por los trabajos de explotación en sus territorios, estas requieren protegerse y recurren a **información de tipo reglamentario**, que expongan las necesidades y ante todo las restricciones de las intervenciones en territorios ancestrales. Así, el desconocimiento de las verdaderas necesidades de las comunidades, hace que desde un escritorio en Bogotá se emanen directrices de orden territorial que en nada benefician a las comunidades.

Por lo expuesto y para el caso del conflicto actual, Pedro asegura que *“La incapacidad de control y vigilancia del estado hace que prevalezca el poder económico particular, por encima del bienestar*

*general de la población [...]”[Pedro, (39)], mirada que de acuerdo con Nates y Raymond [14], invita a que la legislación existente requiere de políticas del Estado claras, con control y vigilancia, y que aborden las problemáticas de los territorios en conflicto desde lo social y desde lo económico.*

### Por lo visto hasta aquí, Pedro subraya

La importancia que tiene legislación, articulada con las entidades del Estado encargadas de brindar amparo y protección a las comunidades; específicamente, protegiendo sus contextos y con ello los ambientes de fauna y flora, que al ser modificados cambia la relación del hombre con su habitat. [Pedro, (63)]

Es importante destacar como el profesor hace referencia al marco legal que protege a las comunidades, pero al mismo tiempo exige casi como un reclamo angustioso a las entidades del Estado que hagan su trabajo de la mejor manera posible, articulados y con transparencia en los procesos territoriales que ejecuten.

Lo que conduce a una recontextualización del espacio habitado, que para el caso de Bogotá está relacionado con la selva de cemento, en donde el campesino desterritorializado y enseñado a labrar la tierra, queda en la incertidumbre, perdiendo con ello su sentido de pertenencia con el territorio y con ello comienza una nueva etapa de recontextualización territorial en un escenario desconocido.

### Dimensión espacio físico

Hablar del espacio físico, lleva al profesor Pedro a referirse a los límites reales o imaginarios, que para el caso del conflicto actual en Colombia, se manifiesta con la incapacidad de control y vigilancia de este espacio físico por parte del estado. Desde su experiencia profesional, Pedro afirma:

[...] el **límite** que es un valor absoluto y el **limitante** que no lo es, no hay un valor absoluto, muchos autores indican que la construcción de los límites es de corte cultural más que de realidades absolutas. Esta disyuntiva, hace necesario para la actualidad Colombiana y pensando en el proceso de restitución de tierras realizar trabajos de referenciar o geo referenciar, ver los límites o limitantes del territorio, cada capa representa un interés, productivo, ecológico o social, frente a las relaciones que plantea, tratar de graficar el territorio

de construir una imagen del territorio y la constitución de unas relaciones entre esas imágenes, permite nuevos parámetros de los análisis [...] Pedro, (47)]

Afirmación que nos invita a utilizar los sistemas de información geográfica y que vincula el espacio físico con las relaciones culturales y significados que la comunidad construye así como el aprovechamiento de los recursos naturales para su subsistencia, vinculando de manera transversal elementos propios del espacio físico con aspectos ambientales, económicos y culturales. Así, el marco de “desarrollo” estará supeditado por todas las acciones de los actores que hacen del espacio habitado un territorio de múltiples interacciones que para el caso de las ciudades más importantes de Colombia entre ellas Bogotá, que por las dinámicas del país cambia abrupta y vertiginosamente debido al aumento demográfico y su infraestructura.

### Conclusiones

#### Conclusión modelo de Pedro

Ilustración. 2. Esquema narrativa Pedro

En la concepción de Pedro encontramos que las cuatro dimensiones (SF-Construcción Social; SF-Ambiente; SF-Jurídico-Política; SF- Espacio Físico) están interconectadas y permeadas por el papel de la universidad, que como actor permite a las distintas comunidades empoderarse de un territorio, de manera que ver el territorio como SF-construcción social, implica reconocer la relación dinámica que se teje entre comunidad, cultura y usurpación. Por lo que de acuerdo con las posiciones de Nates y Rimond [14]; Haesbaert [15] y Boiser [20], desterritorialización, identidad e historia configuran las tensiones que lo enriquecen. No obstante al relacionarlo con el territorio como SF dimensión ambiental, la concepción de Pedro se adhiere con la mirada de Leff [16], al ver la dimensión ambiente desde la complejidad de relaciones que consoliden un desarrollo sustentable de interacción entre los sistemas bióticos y abióticos. Cabe resaltar la importancia que Pedro le otorga a la relación insoslayable entre la visión de sustentabilidad de las cosmovisiones de las comunidades ancestrales, escenario es pensado en las generaciones futuras, para lo cual los trabajos que afecten los ecosistemas deben estar involucrados de manera interdisciplinaria comunidad y Universidad desde su proyección social.

Respecto al territorio desde la dimensión SF-Jurídico-Política, la postura de Pedro está relacionada entre

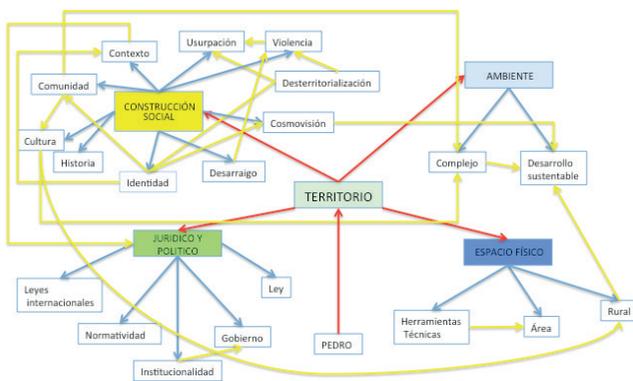
otros con Semper [21], Coronado [22] y Manzano [23] quienes proponen que legislación y las entidades de control y vigilancia del Estado, deben estar articuladas para proteger los territorios ancestrales y con ello a las comunidades que los habitan, que se han visto afectadas por la explotación indiscriminada de los recursos naturales y minerales ejercida por todos los actores ajenos a sus territorios.

Por último al referir al territorio como SF-espacio físico, la postura de Pedro está relacionada con las posturas de quienes reconocen que los sistemas de información geográfica deben estar ligados a las relaciones culturales [24] que tiene las comunidades con sus entornos físicos y límites geoespaciales, aquí la Universidad tiene la competencia de orientar a los diferentes actores en la comprensión científica de las herramientas métodos y conclusiones a que se llega, que comparadas con los límites culturales de las comunidades permitirán un asentimiento de los mismos.

Las consideraciones anteriores dejan entrever la relación de Pedro con el territorio, se remonta a sus años de crianza en donde tuvo una relación directa con lo rural que para el caso de Facatativá era poco industrializada y una zona en donde históricamente su economía se ha centrado en la agricultura y en los cultivos de flores. En su concepción de territorio encontramos como componentes centrales; la comunidad y las interacciones socio cultural en donde la complejidad de las relaciones ambientales define su relación con el espacio físico, visto desde la ruralidad.

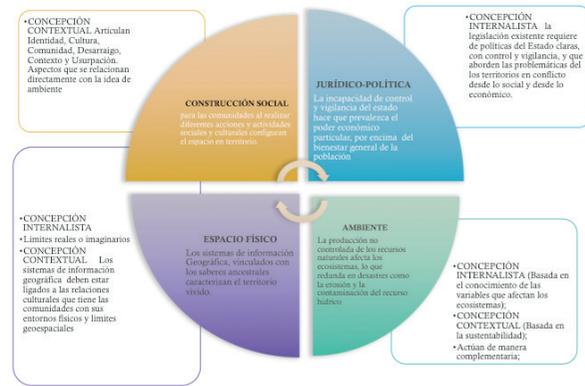
Figuras

Ilustración 1. Modelo concepción de territorio del profesor Pedro



Construcción propia a partir de Atlas Ti

Ilustración. 2. Esquema narrativa Pedro



Fuente. Elaboración propia

Referencias

- [1] Molina, A., Mosquera, C., Utges, G., Mojica, L., Cifuentes, M., Reyes, J., Martínez, C y Pedreros, R. (2014). Concepciones de los profesores sobre el fenómeno de la diversidad cultural y sus implicaciones en la enseñanza de las ciencias. Serie grupos, 6, Fondo de publicaciones, Universidad distrital Francisco José de Caldas.
- [2] Bustos, E. (2015). “Contribuciones Metodológicas para el estudio de las concepciones de territorio de profesionales de las ciencias de la tierra” Educación en Ciencias: Experiencias investigativas en el contexto de la didáctica, la historia, la filosofía y la cultura. En Colombia. Fondo de publicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas, v.7, p.125 - 146
- [3] Santos, M. (1990). Por una geografía nueva. Espasa-Calpe. S.A. Madrid, España.
- [4] Santos, M. (2000). La naturaleza del espacio, técnica y tiempo. Razón y emoción. Ariel. Barcelona. España
- [5] H. Bozzano, Territorios Reales, Territorios Pensados, Territorios Posibles. Aportes para una Teoría Territorial del Ambiente. Espacio Editorial. Buenos Aires. 2004
- [6] H. BOZZANO, Territorios posibles Procesos, lugares y actores. Lumiere. Buenos Aires. 2009
- [7] C. Geertz, (1989). La interpretación de las culturas. Barcelona, España: Gedisa.
- [8] A. Venegas, Ideas de naturaleza de niños y niñas e intercambios culturales en su constitución: estudio de la clase de ciencias del cuarto grado de básica primaria en la escuela indígena *colegio agropecuario Silvino Caro Heredia* en el corregimiento del viento en vichada. Tesis Doctoral. Doctorado Interinstitucional en Educación- Universidad Distrital (DIE-UD), 2014.
- [9] Rodrigo, M., Rodríguez, A y Marrero, J. (1993). Las teorías implícitas. Una aproximación al conocimiento cotidiano. Visor S.A. Madrid. España.
- [10] Romero, J. (2012). Lo rural y la ruralidad en América Latina: categorías conceptuales en debate. Psicoperspectivas. Individuo y Sociedad, vol 11 (1). Available: <http://www.psicoperspectivas.cl/index.php/psicoperspectivas/article/view/176/197>

[11] Molina, A. (2010). Una relación urgente: Enseñanza de las Ciencias y Contexto Cultural, *EDUCyT*, 1, 1: 1-12. Available: <file:///Users/edierhernan/Desktop/3396-9439-2-PB.pdf>

[12] Ch, El-Hani y E. Mortimer, "Multicultural education, pragmatism, and the goals of science teaching," *Cult Stud of Sci Educ*, vol. 2, pp. 657–702, 2007.

[13] F.A. Cardeño. (2007). Historia del desarrollo urbano del centro de Bogotá (Localidad de los Mártires). D'Vinni S.A. Colombia. Available: [http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/observatorio/documentos/investigaciones/estadosArte/HistoriaBta\\_Martires.pdf](http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/observatorio/documentos/investigaciones/estadosArte/HistoriaBta_Martires.pdf)

[14] Nates, B y Raimond (2006). Cartografía Semiótica para la comprensión de territorios de conflicto. *Estudios políticos*, 29, 99-120. Available: <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/estudiospoliticos/article/view/1299>

[15] Haesbaert, R. (2005). Da desterritorialização à multiterritorialidade, anais do x encontro de geógrafos da América latina, Universidade de São Paulo, 6774-6792. Available: [http://planificacion.geoamerica.org/textos/haesbaert\\_multi.pdf](http://planificacion.geoamerica.org/textos/haesbaert_multi.pdf)

[16] Leff, E. (2007) *Saber Ambiental, Sustentabilidad Racionalidad Complejidad Poder*. Siglo XXI Editores, 1998, 6a edición.

[17] I. Escobar. (2001). *Espacio y Territorios: Razón, pasión e imaginarios*. Universidad Nacional de Colombia. Unilibros. Bogotá Colombia.

[18] V. Olivero ., G. Caballero y M. Negrete, "Relationship between localization of gold mining areas and hair mercury levels in people from Bolivar, north of Colombia". *Biological Trace Element Research*, vol 144 (3), pp. 118-132, 2011.

[19] M . Gómez y J. Barredo (2005). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio em La ordenación del territorio*. Alfaomega 2ª edición. México, p. 304

[20] S. Boiser, *Territorio Estado y Sociedad en Chile. La dialéctica de la descentralización: Entre Geografía y Descentralización*. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. España. 2007).

[21] F. Semper, "Los derechos de los pueblos indígenas de Colombia en la jurisprudencia de la corte constitucional", *Anuario de derecho constitucional latinoamericano*, pp. 761-778, 2006.

[22] S. Coronado, S. Transformaciones territoriales y análisis geográfico en ámbitos patagónicos de montaña. La comarca Andina del paralelo 42. Tesis doctoral. Universidad Nacional de la Plata Argentina, 2006

[23] Mançano, B. (2008). Sobre la tipología de los territorios, "Al perder mi tierra, estoy perdiendo mi país." Mirta, campesina paraguaya - Carumbey, San Pedro, Paraguay. Available: <http://web.ua.es/es/giecryal/documentos/documentos839/docs/bernardo-tipologia-de-territorios-espanol.pdf>

[24] M.Saquet, (2007) *Abordagens e concepções de território*. Expressao Popular. Sao Paulo. 2007

## De los autores

**Edier Hernán Bustos Velazco:** Edier Hernán Bustos Velazco. Licenciado en Matemáticas y Física-Universidad de Cundinamarca- Colombia. Magister Docencia de las Matemáticas- Colombia. Candidato a Doctor en Educación-Universidad Distrital Francisco José de Caldas- Colombia. Candidato a Doctor en Geografía- Universidad Nacional de La Plata- Argentina. Docente T.C. – Universidad Distrital Francisco José de Caldas- [ehbustosv@udistrital.edu.co](mailto:ehbustosv@udistrital.edu.co) y [edierhernan1@gmail.com](mailto:edierhernan1@gmail.com)

**Adela Molina Andrade:** Adela Molina Andrade. Licenciada en Educación con énfasis en Biología. Universidad Distrital Francisco José de Caldas- Colombia. Magister en Educación. Pontificia Universidad Javeriana-Colombia. Doctora en educación. Universidad de Sao Paulo-Brasil. Docente T.C. – Universidad Distrital Francisco José de Caldas.- [mara.gracia@gmail.com](mailto:mara.gracia@gmail.com)

**Horacio Bozzano:** Horacio Bozzano. Investigador CONICET Argentina Docente Universidad Nacional de La Plata (Argentina). Doctor en geografía [bozzano59@gmail.com](mailto:bozzano59@gmail.com)

# Propuesta de Implementación del Sistema de Orientación para un Picosatélite en órbita

## Proposal for Implementation of the Guidance System for a Picosatellite in orbit

Paola Andrea Ortiz García<sup>1</sup>  
Sergio Esteban Muñoz Carmona<sup>2</sup>  
Miguel Antonio Ávila Angulo<sup>3</sup>

### Resumen

El proyecto satelital de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, requiere un sistema de estabilización y orientación del vehículo espacial en órbita para obtener la orientación adecuada que permita la comunicación con la estación terrena. Este requerimiento se logra mediante la implementación de un sistema conjunto de actuador y sensor para una adquisición, readquisición y reorientación del satélite. Teniendo en cuenta que para el proyecto la propuesta es la utilización de un giroscopio triaxial como actuador, así como también la implementación de sensores solares ubicados en cada una de las caras del picosatélite permitiendo acciones rápidas y la utilización de poca memoria en el programa principal. Realizando un ajuste rápido de las acciones a realizar en cada uno de los pasos sobre la estación terrena. Para lograr los cálculos de simulación se realizaron sobre la base de SPG4 y el software de AGI. Permitiendo además la generación de datos sobre las perturbaciones y variaciones temporales de los elementos keplerianos de vehículo durante su vida útil.

### Palabras clave

Actuador, Determinación de Actitud, Elementos Keplerianos, Orientación, Perturbaciones Orbitales, sensor.

### Abstract

The Universidad Distrital Francisco José de Caldas satellite project has a requirement to orientation and stabilization of the special shuttle system in its orbit to obtain the right orientation that allows communication to the earth station. This requirement is obtained by means of the system implementation with actuators and sensors to data acquisition and satellite reorientation. Considering that to this project the proposal is to use a Magnetometer as actuator, as well as sun sensors implementation places them in each Pico satellite side. Allowing fast actions and using less memory in main program. Making an express actions adjustment of each observable steps over earth station. To get this objective the calculations of the simulation they were making over the SPG4 base and AGI software. Allowing disturbances and vehicle's keplerian elements temporary variations data generation during its useful life.

### Key words

Actuator, Attitude determination, Keplerian Elements, Orientation, Orbital Disturbances, Sensor.

1 paortizg@correo.udistrital.edu.co  
2 semunozc@correo.udistrital.edu.co  
3 maavila@udistrital.edu.co

## Introducción

El sistema de control y determinación de actitud (ADACS) de un satélite esta formalizado para determinar la orientación espacial en su trayectoria orbital, para lo cual se requiere de las relaciones entre los diversos sistemas rectangulares de coordenadas ubicados tanto en el cuerpo primario así como también los sistemas coordenados en el vehículo espacial a saber, coordenadas sideral, perifocal, topocéntrico, spacecraft body, spacecraft principal, spacecraft orbit[1].

El proyecto debido a su tamaño y limitación en masa (1Kg) permite únicamente la implementación de un actuador pasivo, que para nuestro caso es un magnetómetro que hace las veces de actuador y la utilización de sensores solares para obtener una medida del ángulo de orientación, lo que permitirá tomar las decisiones adecuadas para enviarlas al satélite y que el actuador realice la acción de actitud pertinente, para tener una adecuada orientación que garantice la realización del enlace con la estación terrena y pase al estado de misión [1].

La propuesta de implementación del sistema de actitud es un giroscopio triaxial, el cual siempre estará en la disposición de alinearse con el campo magnético terrestre, para lo cual se dispondrá de una medida del sensor que debe ser igual a la actitud del satélite menos la actitud nominal de los cálculos de simulación.

## Métodos

### Actitud del Satélite

Un vehículo espacial en órbita está sujeto a las acciones gravitacionales de la Tierra y las perturbaciones debidas al entorno espacial, es así como este término de la ingeniería aeroespacial hace referencia a la orientación angular de un sistema de coordenadas fijo en el satélite respecto al sistema de coordenadas externo al mismo.

Esto quiere decir que el movimiento del satélite en el espacio se puede describir por un conjunto de ecuaciones que son del tipo diferencial ordinaria no lineal, cuya solución permite el conocimiento del torque externo, momento angular y por supuesto su actitud respecto a un sistema de coordenadas de referencia, lo que permite el uso de ecuaciones de traslación y rotaciones entre los sistemas.

La actitud de vehículo espacial, se puede entender como el proceso de medir la orientación angular del satélite por medio de sensores [3].

Entonces el término de adquisición de actitud se utiliza para una maniobra en que la actitud inicial es desconocida al momento de planeación de la acción.

- SEPARACIÓN DEL CUBESAT DEL COHETE QUE LO DEJA EN ORBITA.
- ↓
- ALCANZAR UNA ACTITUD CERCANA A LA ACTITUD NOMINAL DE DISEÑO
- ↓
- INICIO DE OPERACIÓN NORMAL DE LA MISIÓN

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FJC"

27

Figura 1. Pasos para la obtención de la adquisición de la actitud de un satélite. Fuente: Autores

Así, el movimiento del satélite en su trayectoria su puede estudiar desde dos puntos de vista según las variables que estén presentes a saber; un estudio cinemático el cual relaciona la velocidad orbital, su orientación relativa que involucra el conocimiento de los ángulos de Euler, su localización respecto al cuerpo primario, aunque se manejan tres variables, realmente se necesitan cuatro que se trabajan con el cuaternión unitario  $q$  (combinación de tres componentes del vector unidad y el ángulo de rotación) [3].

Desde el punto de vista dinámico se estudian los pares de fuerzas externas actuantes sobre el sistema como son las perturbaciones del ambiente espacial (gravitacionales, rozamiento, radiación solar y pares magnéticos), y las del sistema de control.

### Representación de la Orientación del Vehículo en Órbita

En un proyecto satelital se tiene un problema fundamental como es el de la representación de la actitud del vehículo espacial en órbita que representan los torques ejercidos sobre la nave artificial y la evolución temporal de su orientación, este se resuelve pensando en poder obtener las orientación del sistema de coordenadas amarradas al cuerpo del satélite respecto a un sistema coordenado fijo en el primario [2].

Las propuestas conocidas para hallar la solución a este problema son los ángulos de Euler, el cuaternión unitario y la matriz de rotación  $R_{313}$ .

- Los sistemas de coordenadas se pueden diferenciar en cuanto a la ubicación de su

origen, estos pueden ser localizados en el cuerpo del primario y en la nave espacial, la definición de estos sistemas de referencia deben tener en cuenta las condiciones geométricas (de carácter obligatoria y vinculadas a la forma geométrica del satélite) y físicas (son externos, no fijos al cuerpo en rotación y no necesariamente inercial) estos corresponden a [2]:

- ▶ Sistema sideral (ECI): tiene el origen localizado en el centro de masa de la Tierra, su eje Z es paralelo al eje de rotación terrestre.
- ▶ Sistema terrestre (ECEF): asume una longitud de cero en el meridiano de Greenwich, utilizado para introducir coordenadas fijas en la nave.
- ▶ Principal del vehículo (SCP): su origen se coloca en el centro de masa del satélite.
- ▶ Principal en órbita (SCO): sus ejes son paralelos al ECI, pero con origen en el centro de masa del vehículo espacial.
- ▶ Principal en el cuerpo (SCB): su eje geométrico es fijo, pero su origen se coloca en centro de masa del satélite.

### Modelamiento Dinámico

Es la agrupación de las ecuaciones de cinemática y dinámica, para ello se pueden utilizar métodos de numéricos o modelos analíticos, partiendo de [6]:

$$\vec{\tau}_{ext} = \frac{\Delta}{\Delta t} \vec{L} \quad (1)$$

Se tiene que el vector de estados es definido a partir de los vectores de velocidad angular  $\omega$  y el momento angular L parametrizados y seleccionados para el ADACS, al igual que los grados de libertad [8]. Si el torque interno es cero para la nave, la expresión para el torque neto externo corresponde con:

$$\vec{\tau} = \frac{d}{dt} \vec{L} + \vec{\omega} \times \vec{L} \quad (2)$$

$$\vec{\tau} = \frac{d}{dt} \vec{L} + (I^{-1} \vec{L}) \times \vec{L} \quad (3)$$

Pero si la suma de los torques, para el sistema de referencia en la nave se tiene:

$$\vec{\tau} = I \frac{d}{dt} \vec{L} + I^{-1} (\vec{L} - \vec{h}) \times \vec{L} \quad (4)$$

Expresión que contiene el torque interno ejercido sobre el vehículo espacial. De esta manera podemos representar la energía cinética del sistema en la forma:

$$T = \frac{1}{2} \omega^T I \omega \quad (5)$$

### Estabilidad Giroscópica

Un giroscopio mantiene una dirección de referencia angular por medio de una masa con un spin adjunto. La utilización de este instrumento requiere tener en cuenta:

- ▶ Si la masa m es muy pequeña, el giróscopo se puede utilizar como sensor.
- ▶ Si la masa es muy grande, el giróscopo se puede emplear como un actuador.

El giro modelado consiste en utilizar sensores para sensar la velocidad angular  $\omega$  para poder integrar las ecuaciones de la cinemática [7].

Cabe anotar que el ambiente espacial ejerce un torque  $\tau$  sobre el vehículo espacial el cual tiene unas componentes que realizan las siguientes acciones:

- ▶ Componente normal: causa un desplazamiento de L en la dirección del torque  $\tau$  aplicado.
- ▶ Componente paralela: causa una aceleración.

Las ecuaciones de Euler establecen:

$$\vec{\tau}_{ext} = \frac{\Delta}{\Delta t} \vec{L} \quad (6)$$

Si se tiene en cuenta el momento angular h de la nave, el torque externo sobre el vehículo tiene una componente normal a h. Se obtendrá entonces un desplazamiento diferencial que se puede calcular mediante [5]:

$$T = \frac{1}{2} \dot{\omega} I \omega \quad (7)$$

Dejando ver que a mayor h menor  $\Delta\theta$ , condición que se conoce como estabilidad giroscópica.

### Control Pasivo

Utiliza principios de fuerzas o torques ejercidos en el ambiente espacial. Este presenta unas ventajas como ahorro de recursos de abordo (ahorro de energía de las baterías) pero también presenta una desventaja como es la proveer un control pobre, poca precisión. Para el proyecto se propone la utilización de rotores fijos a la estructura de la nave transfiriendo un momento angular L al rotar.

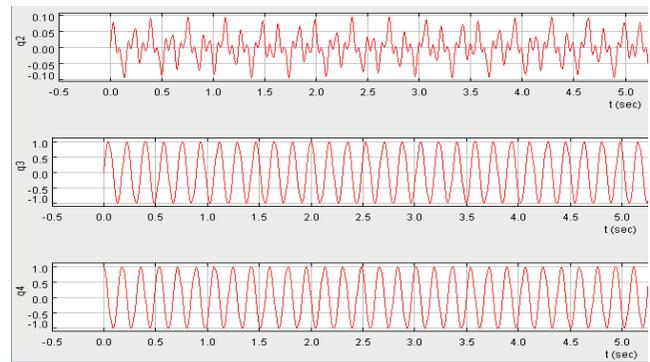


Figura 4. Datos simulados de los cuaterniones. Fuente: Autores

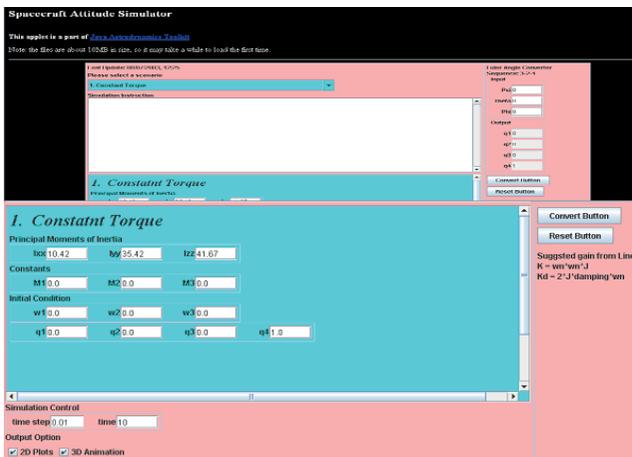


Figura 2. Datos de simulación en attitude space-craft Simulator Fuente: Autores

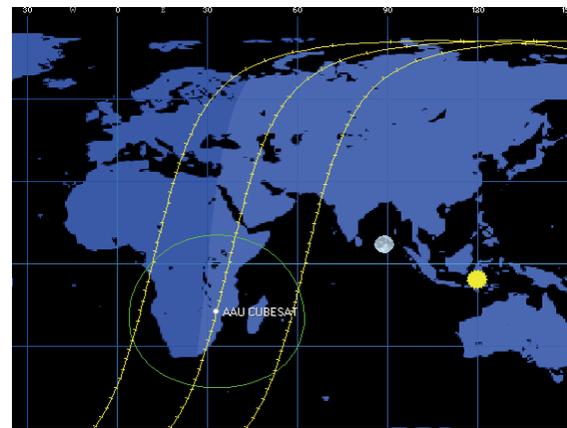


Figura 5. Software de seguimiento Orbitrón. Fuente: Autores

### Resultados

A continuación se presentan algunas gráficas que se han obtenido en el proceso de simulación:

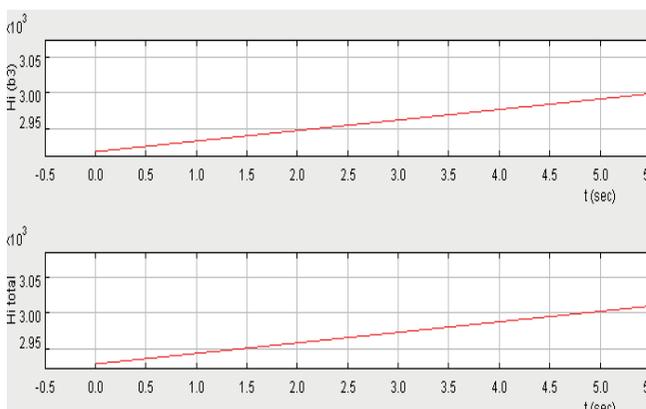


Figura 3. Estabilización del momento angular. Fuente: Autores

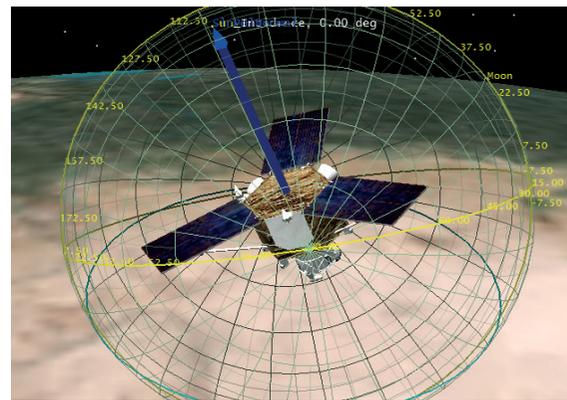


Figura 6. Actitud de la nave en órbita, simulado con software AGI. Fuente: Autores

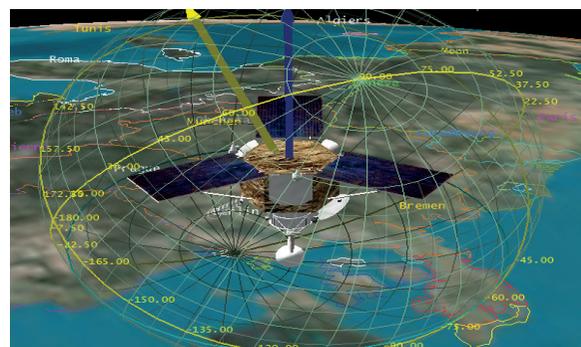


Figura 7. Relación de sistemas de coordenados en órbita, simulado con software AGI. Fuente: Autores

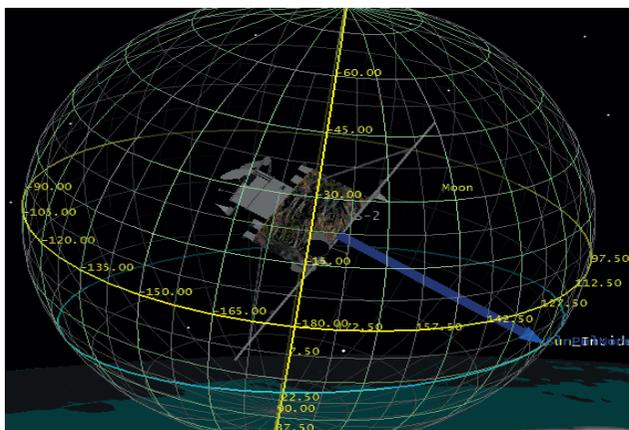


Figura 8. Movimiento de la nave para realizar enlace de comunicaciones con la estación terrena. Fuente: Autores

## Discusión

Los resultados obtenidos para este trabajo establecen que la mejor forma de obtener los mejores resultados para orientación en órbita de un pico satélite es colocar giroscopios triaxiales, permitiendo tener una actitud de orientación en menor tiempo de respuesta, además su masa se ajusta al requerimiento de peso para este tipo de satélites. Las limitaciones que ofrecen estos giroscopios está en los diferentes tamaños, para ello se debe buscar aquellos que establezca el equipo de peso y balance. La propuesta de utilizar este tipo de equipo como actuadores es que con ellos, la curva de respuesta de estabilización se obtiene en menos tiempo a diferencia, de si se utilizan acelerómetros. La razón es que para un pico satélite cuyo peso es 1Kg la respuesta mecánica de estabilización se puede alcanzar sin contar con respuestas electrónicas como si la requieren los acelerómetros

## Conclusiones

Para un proyecto académico satelital se propone en sistema ADACS basado en giroscopios triaxiales porque ofrecen una rápida estabilización del momento H, y mejores resultados para los datos de los cuaterniones.

Colocar estos giroscopios en un pico satélite, permite de acuerdo con las simulaciones una pronta respuesta de estabilización para establecer la orientación orbital del vehículo espacial en órbita. El ofrecimiento de mecanismos de control y de adquisición de actitud en el mercado se ajusta a los presupuestos del proyecto.

Se cumple con las limitaciones en peso y tamaño del proyecto, así como su baja memoria en datos en main pc de abordaje.

Estos equipos se pueden conseguir en el mercado de acuerdo con el peso indicado por el grupo de trabajo de peso y balance.

## Referencias

- [1] R.C. OLSEN, Introduction to the space environmental, Naval postgraduate School, 2003.
- [2] A. P. Marins, Determinação e manobras autônomas de órbitas de satélites artificiais em tempo real usando medidas PS de uma frequência. Instituto nacional de pesquisas espaciais, San José Dos Campos Brasil, pp 139\_158, 2000.
- [3] L. Mendoza, Sistemas coordenados, Ecosat, Mexico, 2007.
- [4] L. Mendoza, órbitas keplerianas, Ecosat, Mexico, pp 53-69, 2007
- [5] J. Bao Yen Tsui, Fundamentals of global positioning system receivers second edition, Wiley editions, Canada, 2005, pp51-65.
- [6] A. Leick. GPS satellite surveying, Wiley interscience, 1995, pp 16-41, pp451-476.
- [7] D. Roddy, Satellite communications third edition, New York, 2001, pp21-62, pp67-86.
- [8] P.J.G. Teunissen., GPS for Geodesy second edition, Springer, Berlin, 1998, pp12-36, pp43-106
- [8] P.J.G. Teunissen., GPS for Geodesy second edition, Springer, Berlin, 1998, pp12-36, pp43-106

## De los autores

**Paola Andrea Ortiz García:** Ingeniería Catastral y Geodesia – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Estudiante-Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – paortizg@correo.udistrital.edu.co

**Sergio Esteban Muñoz Carmona:** Ingeniería Catastral y Geodesia – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Estudiante- Universidad Distrital Francisco José de Caldas- Colombia – semunozc@correo.udistrital.edu.

**Miguel Antonio Ávila Angulo:** Ingeniero Catastral y Geodesia – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia - Licenciado en Física – Universidad Pedagógica Nacional – Colombia. Especialista en Sistemas de Información Geográfica – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – Magister en Ciencias de la Información Énfasis en Geomática – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Profesor Facultad de Ingeniería – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia – maavila@udistrital.edu.co

# La ciencia del diseño para un metamodelo de regulación de agua potable y saneamiento básico

José Andelfo Lizcano Caro<sup>1</sup>  
Sandro Javier Bolaños<sup>2</sup>  
Rubén Javier Medina Daza<sup>3</sup>



## Resumen

En Colombia, la regulación del servicio público de acueducto, en sus componentes de inversiones, de operación y mantenimiento, se ha realizado por actividades y por métodos de eficiencia relativa. La actividad inicial se ha establecido en la captación; la final, en la distribución. Esa concepción excluye otras actividades que garantizarían mayores caudales y ofrecerían mejores condiciones para el suministro de agua en horizontes de largo plazo. Desde el diseño de investigación de ciencias (DSR), y la definición de artefactos, se abordarán soluciones introductorias, para contribuir a la comprensión de la complejidad de los sistemas de agua potable.

## Palabras clave

Agua potable. Artefacto. Ciencia. Diseño  
Investigación. Metamodelo. Regulación.

1 jalizcanoc@udistrital.edu.co

2 bsandrojavier@gmail.com

3 rmedina@udistrital.edu.co

## Introducción

Desde el principio Aristotélico de la causa como esencia racional de la sustancia [1], en el propósito de la investigación de un metamodelo de regulación para agua potable en horizontes de largo plazo, uno de los posibles productos de la *ciencia basada en el diseño*, son las premisas de los artefactos de investigación [2], que permiten entender la propuesta y alcanzar mejores resultados de los que se obtienen empíricamente. El artefacto de investigación que, en una fase preliminar se explora como solución, se centra en los procesos de prestación del agua potable. Los principales procesos de integración a considerar son los de: producción de agua, sistemas de captación, tratamiento, conducción, distribución y comercialización. Las *iteraciones* se expresarán para los métodos estadísticos de sistemas de aducción por niveles de complejidad. Estos procesos serán la capa superior del suministro del servicio de agua potable. Desde una perspectiva regulatoria, de allí se derivan criterios socioeconómicos de suficiencia financiera y eficiencia económica; y de subsidios junto con sus aportes solidarios.

Metodológicamente, el diagrama de secuencia [2] se simplifica en problemas de situación, de definición y de estado; en bases axiológicas y descriptivas; percepción e indicadores de gestión y resultados; planeación y configuración; y finalmente la creación, diseño y representación. Basados en distintos modelos utilizados para predecir demandas futuras de agua en horizontes de planeación de largo plazo, el artefacto de la investigación, desde la perspectiva de Ingeniería de Software y *ciencia basada en el diseño*, se expondrá desde un método de investigación que articule los casos de metamodelos de escasez y demanda. Las estadísticas usadas en este artículo, son el resultado de dos investigaciones ya finalizadas<sup>4</sup>; cuya información representa el insumo necesario para la generación del metamodelo aquí expuesto. Ello, como un intento de aplicación científica del diseño en las ciencias relacionadas con la ingeniería a un caso de regulación en servicios públicos básicos.

## Marco teórico

### 2.1 Ciencia del diseño (S + D)

Una de las concepciones del diseño de las ciencias está en el esfuerzo de crear cosas que sirvan a

4 "Distorsiones socioeconómicas del régimen tarifario de agua potable y saneamiento básico" y "Metodología y modelo socioeconómico para estimar consumos básicos de subsistencia de agua potable en Colombia" Fueron avaladas por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital. Sus códigos de referencia son: 2308104006 y 38129712

propósitos humanos. Como marco científico, March y Smith (1995) describen el diseño desde dos ejes, referidos a las actividades de investigación y los resultados obtenidos de ellas. Entre las actividades, están la teorización, la justificación y los artefactos. Como resultados: los métodos y ejemplificaciones y los modelos y las construcciones [1].

Consecuente con este paradigma, el profesor Wieringa plantea que el Diseñador debe responder preguntas pertinentes a los problemas humanos a través de la creación de artefactos innovadores, contribuyendo así a la generación de nuevo conocimiento, con evidencia científica [2]. Ello, para: i) legitimar la ciencia del diseño como un válido método de hacer investigación en el campo, y ii) para aplicación de diseños en otras disciplinas y para su revalidación a partir de ellas. Para ello, los artefactos son uno de los productos de los diseños que buscan dar respuesta más allá de sistemas aislados, que permitan modificar situaciones existentes para la obtención de mejores resultados [3].

### 2.2 Actividades de prestación en agua potable

En los países latinoamericanos, el servicio público domiciliario de agua potable o servicio de acueducto, se entiende como la distribución de agua apta para el consumo humano, incluida su conexión y medición [1]. Para su debida prestación, como lo dispone el Reglamento Técnico del Sector [2], se deben incorporar las actividades de captación de agua y su procesamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y transporte. Las actividades expuestas aluden a infraestructura tecnológica y de ingeniería, pero excluyen la generación de agua, como un bien natural. Al punto que el régimen legal colombiano dispone que la conservación de las cuencas hidrográficas no hace parte del servicio público de agua potable [3].

Pese a estos distorsionados mandatos, que por una ruta procuran la prestación universal de servicios públicos con calidad; y por la otra, marginan los sistemas hidrológicos de la cadena de prestación, a los reguladores les imponen el deber de fijar las reglas y pautas técnicas, económicas y comerciales para garantizar el suministro de servicios [4], tanto en el presente, como en el futuro.

### 2.3 El equilibrio imperfecto de la regulación

Bien sea bajo regímenes de libertad regulada o vigilada, el Regulador debe buscar que los agentes, que atienden el mercado de usuarios, compitan por servicios de calidad. A partir de los resultados de la

Investigación a las distorsiones socioeconómicas del régimen tarifario de agua potable [8], a se diseñan la matriz criterios e intereses de actores, respecto de criterios universales que soportan los regímenes de los servicios públicos, como los de suficiencia financiera y eficiencia económica; al igual que los de solidaridad y redistribución de ingresos y neutralidad y transparencia [5].

Tabla N. 1. Criterios tarifarios de interés por actores

CRITERIO	ESP	USUARIO	DISTORSIÓN
Suficiencia financiera	Recuperar costos y obtener remuneración	Empresas viables.	Captura del regulador para subir precios techo
Eficiencia económica	Competitividad en el mercado. Maximiza utilidad (precios techo)	Para menor tarifa y/o mejor servicios de mayor estándar	Asimetrías de información para modelos de eficiencia relativos (comparación)
Solidaridad	Mayor eficiencia de recaudo	Subsidios y aportes cruzados. Inversiones estatales	Subsidios a la oferta que aumentan la exigencia de recursos
Estabilidad regulatoria	Recuperación de inversiones. Reglas claras.	Garantía futura de SP	En crisis, las empresas presionan por mayores tarifas, con amenazas de racionamientos
Simplicidad y transparencia	Reglas claras	Control social	Regulación económica compleja y usuarios son representación precaria

Fuente: los autores

Además, por la cuantía de los costos en infraestructura, caracterizadas por costos hundidos y recuperación de inversiones en el largo plazo –con mayor riesgo-, la prestación del agua se da por monopolios naturales. Ello implica que el regulador deba, artificialmente, diseñar una competencia, y realizar comparaciones entre empresas con distintas configuraciones en sus sistemas, calidades disímiles de aguas crudas, mercados heterogéneos, topografías y climas diversos y distintas culturas [5]. Las asimetrías de información, que le pertenece a las empresas y las presiones para que les reconozcan un mayor riesgo al existente y les permitan incorporar altas pérdidas y mayores aumentos en las tasas de descuento, entre otras razones, conlleva a la denominada “captura

del regulador” [6]. Esa tensión a la que es sometido el Regulador: por las empresas, los gobiernos, los gremios y los usuarios y sus organizaciones, lo lleva a transitar por una cuerda inestable. Desde los dos extremos de la soga, hemos construido la analogía del equilibrista. Veamos las ilustraciones.

Ilustración N. 1. Diseño del problema: Equilibrio regulatorio inestable



Fuente Lizcano J. Investigación Modelo de Regulación de AP

Al usuario le interesa que los servicios sean prestados con calidad y eficiencia [14]. En tanto, el Regulador parte de una realidad sectorial dominada por prestadores que se oponen a la vigilancia, piden modelos anti intrusivos y exigen libertad de empresas junto con garantías estatales [11]. El tránsito por la cuerda (figura N. 1), lo cursa el regulador con un listón de apoyo. El recorrido ilustra los diferentes trayectos e incertidumbre propios del sector. La red que lo puede proteger, está tejida de: decisiones regulatorias como los precios techo; la planeación de inversiones y suministro de agua a largo plazo; el control y la estabilidad regulatoria; y la participación de capital público y privado [11].

**Diseño categorial de actividades de suministro**

La hipótesis central de la investigación del “Metamodelo de regulación para agua potable y saneamiento básico” parte de la premisa que puede haber un mayor uso racional y eficiente del agua, y que ello puede ser regulado de mejor manera desde un metamodelo que soporte el lenguaje de solución a problemas como la definición de franjas de consumos: vitales, básicos, complementarios y suntuario.

Como complemento, se plantea que la variable demanda de agua potable y saneamiento básico (APSB) se ha determinado por las empresas de servicios públicos regímenes de libertad vigilada, capturando al regulador. Para alcanzar criterios de eficiencia, se requiere definir modelos para estimar horizontes de planeación (HVPD) y valores presentes de demanda de largo plazo (VPDLP), bajo un régimen de libertad regulada intrusivo.

### 2.4.1 Actividades de prestación de acueducto y alcantarillado

En términos del régimen de los servicios públicos, de la regulación vigente [1] y de los reglamentos técnicos [7], los alcances de las actividades de suministro son:

**Planta de potabilización.** Son las instalaciones necesarias de tratamientos unitarios para purificar el agua de abastecimiento para una población.

**Sistema de distribución de agua potable.** El sistema de distribución de agua potable está constituido por el conjunto de redes locales que conforman el sistema de suministro del servicio público domiciliario de acueducto.

**Red matriz.** Parte de la red de distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y que distribuye el agua procedente de la conducción, planta de tratamiento o tanques de compensación a las redes secundarias. La red primaria mantiene las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto de todo el sistema.

**Sistema de conducción de agua potable.** el conjunto de tuberías empleadas para el transporte de agua potable, desde la fuente de captación hasta la planta de tratamiento, o de ésta hasta los tanques de almacenamiento a partir de los cuales se alimenta el sistema de distribución.

Dependiendo de los criterios básicos y requisitos mínimos que deben cumplir las aducciones, conducciones y líneas de impulsión en los diferentes procesos involucrados en su desarrollo, tales como la conceptualización, el diseño, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento, con el fin de garantizar seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia, se determina el nivel de complejidad de los sistemas. De ello, dependen aspectos como los métodos de cálculo a utilizar para el diseño del sistema de aducción.

Tabla N. 2. Métodos de diseño por nivel de complejidad

Método de posible uso para diseños de aducción	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial				
Aritmético + Geométrico + exponencial + otros				
Por componentes (demográfico)				
Detallar por zonas y detallar densidades				

Fuente: RAS 2000

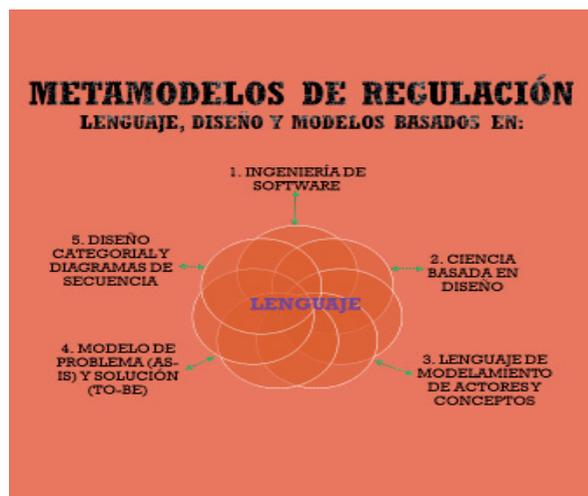
Si bien en el diseño de los proyectos se deben definir criterios técnicos y económicos que permitan comparar todas las alternativas posibles para la aducción a partir de los datos de campo, de los datos geológicos y de los datos de consumo de la población que se abastecerá, faltan criterios ambientales y de mínimo costo [8]. Dependiendo de la topografía, la distancia y la diferencia de nivel entre la captación y la planta de tratamiento, la aducción puede hacerse a través de una tubería a presión o un canal abierto. Ello, de conformidad con los Reglamentos Técnicos Sectoriales [2].

Para los análisis hidráulicos, se entran a considerar las operaciones y maniobras de cada sistema; al igual que los niveles de presión y caudales y el tipo de canales y obras de arte requeridas.

### Solución y resultados

El estudio de la predicción de consumos de agua, en horizontes de planeación, es necesario como estrategia de gestión de demanda y sostenibilidad de cualquier país o región. Ello es coherente con mandatos como los dispuestos en la Directiva Marco de Aguas de la Unión Europea, trazado hasta el 2015 [12]. Desde un modo de análisis proactivo de la investigación del diseño, la estructura dentro de la cual se encuentra inmerso el artefacto desde la Ciencia Basada en Diseño del diseño que nos permite obtener los metamodelos [13] de solución para regular el suministro de agua potable, en perspectivas de planeación de largo plazo, está soportada en ingeniería de software, en modelamiento de actores y conceptos, en el modelo de problemas (AS-IS) y soluciones (TO-BE) [22] y en un diseño categorial de diagramas y secuencias [11].

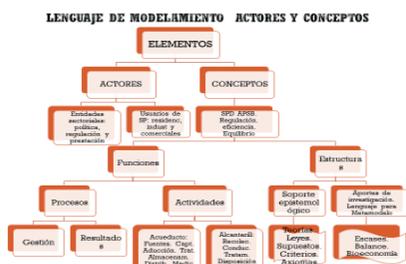
Ilustración N. 2. Diseño del lenguaje para metamodelos de regulación



Fuente: Lizcano J. Investigación Modelo de Regulación de AP

El aporte central del diseño de investigación es el lenguaje que soporta los procesos de prestación del servicio de agua potable. En una estructura vertical de actores y conceptos se derivan los procesos de gestión y resultados y las actividades de suministro, aplicables al sector de agua potable y saneamiento básico. Lo expuesto, se describe en el siguiente modelo:

Ilustración N. 3. Diseño de estructura por actores y conceptos



Fuente: Lizcano J. Investigación Modelo de Regulación de AP

La identificación de los actores y los conceptos son la base de secuencial de la estructura del sector de los servicios públicos, para definir el diseño de los procesos y las actividades de prestación. Las funciones y estructuras nos conducen a un sistema de máquinas de proceso, donde las salidas esperadas son la gestión y los resultados, en términos de sostenibilidad para el suministro futuro.

### 3.1 Diseño de los metamodelos de solución

Soportados en las dos estructuras anteriores, se inicia el diseño de los metamodelos de solución esperados. A nivel de estudios de caso, se representan los de cambio climático y consumo de agua. En el metamodelo de cambio climático se concibe la bioeconomía [15] como la síntesis de las ciencias denominadas duras: física, biología, ecología y matemática, para desde sus bases científicas, buscar de manera interdisciplinaria soluciones ambientales y económicas sostenibles.

Ilustración N. 4. Metamodelo para escases de agua



Fuente: Lizcano J. Investigación Modelo de Regulación de AP

Ante la magnitud de la perspectiva del crecimiento demográfico y el ascenso social de las clases medias, y las exigencias de la población de servicios públicos básicos de agua y saneamiento, el mayor riesgo recae sobre el sostenimiento ecológico. Estos desequilibrios imponen los retos de reestudiar la demanda, desde hábitos de consumo alterados con el desarrollo tecnológico. También, se debe reevaluar la oferta, desde la revisión del sistema productivo y la detección de soluciones, desde la ingeniería y la tecnología, más eficientes y que mitiguen los daños ambientales [15].

Allí, en las actividades expuestas para el servicio de acueducto, se hace evidente la necesidad de incorporar, como actividad central, las inversiones ambientales [17] y la producción del agua, con el propósito de garantizar el ordenamiento y protección de las cuencas y fuentes de agua. Esa actividad que no hace parte del servicio público domiciliario de acueducto, debe incorporarse. La perspectiva del metamodelo expuesto aporta para su dimensionamiento e interacción.

Con la construcción de metamodelos como el de cambio climático, se puede lograr el cambio en la percepción de las relaciones entre los sistemas naturales y los asociados al suministro de servicios públicos, logrando un mejor rendimiento de un nuevo sistema que se articula como un todo [18].

### Trabajos futuros

Establecido el fundamento para el conocimiento y comprensión de las ciencias del diseño para resolver problemas de falta de regulación para proyectar adecuadamente la dotación de servicios públicos, en una siguiente fase se deben ampliar las soluciones que conlleven a las aplicaciones requeridas, en términos de cálculo de horizontes de planeación, de la medición matemática de efectos elasticidad precio de la demanda, de líneas de consumo y de reducción de pérdidas de agua, minimizando las distorsiones recurrentes en los distintos modelos.

Dentro de la investigación doctoral [11] para el Metamodelo de Regulación de Agua Potable, en consecuencia con el presente tema, lo que sigue es soportar cada una de las soluciones de diseño para resolver problemas referidos a la eficiencia relativa y absoluta y la revalidación del concepto de los servicios de acueducto y alcantarillado y de la regulación que se requiere para proyectar la prestación futura de servicios públicos, generando, epistemológicamente, nuevos lenguajes.

## Conclusiones

Desde la analogía del equilibrio imperfecto, como ruta de solución a la carencia de modelos de regulación de agua potable que creen nuevos lenguajes para la obtención de uno o varios metamodelos de solución, y que vayan más allá de la dimensión económica y financiera, se ha expuesto, de manera introductoria, cómo, desde un proyecto de ciencia basado en el diseño, se pueden comprender los componentes principales de los servicios públicos domiciliarios de agua potable, que es el objeto de estudio, y las actividades centrales de diseño y la construcción del artefacto de investigación. Para el diseño, se partió de los criterios económicos y sociales, que son la base de los modelos. A las actividades centrales de la prestación de los servicios, le hemos agregado las de tipo complementario. Desde allí, se replantea la necesidad de incorporar la actividad de producción del agua, comúnmente excluida de las regulaciones.

Para el suministro del servicio de agua potable y la recolección de vertimientos líquidos y su disposición, se ha expuesto cómo los diseños deben ir más allá de los reglamentos técnicos sectoriales, que si bien sientan normas de tecnología e ingeniería, como dimensiones de obra, métrica de caudales y unidades de observación, deben incorporar con mayor decisión los sistemas naturales de riesgo, la escasez del agua y la preservación de humedales o su recuperación. Como principios para la construcción del metamodelo para regular el suministro de agua potable en horizontes de largo plazo, se ha demostrado: i) el año o periodo base debe hacer parte de los cálculos de proyección, al no incluirse, se generan distorsiones, como las expuestas; ii) mantener amplias brechas en los diseños de las proyecciones de los índices de agua no contabilizada y los niveles de pérdidas de regulación, aumentan la incertidumbre en las proyecciones y emiten señales negativas para el uso racional y eficiente del agua; iii) para lograr mayor flujo financiero, las empresas procuran proyectar menos volúmenes de agua respecto de los requeridos; y iv) por lo anterior, para evitar asimetrías y mayor objetividad en las proyecciones de volúmenes de agua, el metamodelo de regulación debe deslindar la dimensión financiera de las proyecciones técnicas y ambientales.

Desde los paradigmas de la ciencia basada en diseño S+D, se puede lograr la interacción de las actividades de prestación del servicio de agua potable y las relaciones inversas de las actividades complementarias de alcantarillado.

## Agradecimientos

Al doctor Nelsón Pérez Castillo, director del Seminario de Investigación II, del Doctorado en Ingeniería, por sus enseñanzas y por compartir sus experiencias científicas y vivencias de su producción académica. Y al Centro de Computación de Alto Rendimiento –CECAD-.

## De los autores

**Jose Andelfo Lizcano Caro:** docente tiempo completo Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Candidato a doctor en Ingeniería Universidad Distrital. Msc. Urban and Regional Planning. jalizcanoc@udistrital.edu.co

**Sandro Javier Bolaños:** Ingeniero de sistemas, profesor de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magister en Teleinformática – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Doctor en Informática – Universidad Pontificia de Salamanca – España. bsandrojavier@gmail.com

**Rubén Javier Medina Daza:** docente tiempo completo Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Doctor en Informática, énfasis GIS – Universidad Pontificia de Salamanca – España. rmedina@udistrital.edu.co

## Bibliografía

- [1] S. SALGADO, La Filosofía de Aristóteles, Duererías, 2012.
- [2] J. P. y. P. E., An Introduction to Design Science, Switzerland: Springer, 2014.
- [3] B. G. y. Otros, El Lenguaje Unificado de Modelado UML, Addison Wesley, 2014.
- [4] A. OSTERWALDER, «The business model Ontology. Tesis doctoral.» Université de Lausanne, 2004.
- [5] R. WIERINGA, Design Science Methodology for Information Systems and Software Engineering, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.
- [6] P. D. y. V. J. Dresch A., Design Science. Research A Method for Science and Technology Advancement, Porto Alegre. Brazil.: Springer, 2015.
- [7] Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, Resolución integral 151, Bogotá, D.C., 2001.
- [8] Gobierno Nacional de Colombia, Reglamento Técnico del Sector para Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS-, Bogotá, D.C., 2000.
- [9] Congreso de Colombia, Ley 142. Artículo 161, Bogotá, D.C., 1994.
- [10] D. Newbery, «Determining the regulatory asset base for utility price regulation.» Utilities Policy. , vol. 6, n° 1, pp. 1-10, 1997.
- [11] J. o. Lizcano, «Distorsiones socioeconómicas del régimen tarifario de agua potable y saneamiento básico.» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, D.C., 2011.
- [12] J. Lizcano, Investigación al régimen tarifario de agua potable y saneamiento básico, Bogotá, D.C.: Fondo de Publicaciones Universidad Distrital, 2011.

- [13] B. F., «Corrupción y captura en la Regulación de los servicios públicos.» *Economía Institucional*, vol. 7, n° 13, 2005.
- [14] P. Spiller, «Plan de Acción y Estrategia Regulatoria.» 2000.
- [15] L. J., «Modelo de regulación para agua potable en horizontes de largo plazo. Proyecto de investigación doctoral. Doctorado en Ingeniería.» CIDC de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, D.C., 2015.
- [16] Ministerio de Desarrollo Económico, «Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Sección III. Título B. Sistemas de Acueducto.» Bogotá, 2000.
- [17] J. SILVA, Tesis de doctorado: Bienes públicos e interés colectivo: la prestación del servicio público domiciliario de agua potable en Bogotá., Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [18] C. d. R. d. A. P. y. S. Básico, Primer periodo tarifario de agua potable para Colombia. Resolución 08., Bogotá: Diario Oficial, 1995.
- [19] URS Corporation—Oakland, California & Maddaus Water Management—Alamo, California, «Wholesale Customer.» San Francisco: USA., 2004.
- [20] F. DAZA, «Tesis Doctoral. Demanda de Agua en Zonas Urbanas en Andalucía.» Universidad de Córdoba, Córdoba, España, 2008.
- [21] S. J. y. Z. Q. & Y. D., «Statistical modeling of daily urban water consumption.» *Water Resources Research*, vol. 46, n° 3506, pp. 2-10, 2010.
- [22] J. A., TOGAF Versión 9.1, The Open Group, 2013.
- [23] M. HELFERT, Design Science: Perspectives from Europe. Revised Selected Papers., Dublin, Ireland.: European Design Science Symposium, EDSS 2013. , 2013.
- [24] OCDE, «The Bioeconomy to 2030. (2009).» de Designing a policy agenda, 2009.
- [25] G. ANLLO, «Bioeconomía y los desafíos futuros.» *El Estado de la Ciencia*, n° Del año 2013, pp. 45-68, 2014.
- [26] N. y. B. J. ALEXANDRATOS, «World agriculture towards 2030/2050.» *FAO Agricultural. ESA Working*, vol. 03, n° 12, 2012.



## FE DE ERRATAS

Durante el proceso de edición del artículo “Creación de un metaverso en Opensim para la Universidad Distrital dentro de la red RITA-UD” publicado en el Volumen 3, número 2, pp. 51-60 del año 2012, se adicionó un quinto coautor incorrectamente; por ello presentamos excusas y anunciamos que la corrección ya fue aplicada en el portal de la Revista electrónica.