

**Redes de Ingeniería**  
**E-ISSN:** 2248-762X  
Vol. 7 No. 2  
Julio-Diciembre 2016



**UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

### **DIRECTIVAS**

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

*Rector*

**Roberto Ferro Escobar**

*Decano Facultad de Ingeniería*

### **REVISTA REDES DE INGENIERÍA**

**M.Sc. Jorge Enrique Salamanca Céspedes**

*Editor de la revista, Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia*

### **COMITÉ EDITORIAL**

**Dr. Giovanni Mauricio Tarazona Bermudez**

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia*

**Dr. Juan Manuel Cueva Lovelle**

*Universidad de Oviedo - España*

**Dr. Oscar Sanjuán**

*ElasticBox - Estados Unidos*

**Dr. Ruben Aristides Gonzalez Crespo**

*Universidad Internacional de la Rioja – UNIR - España*

**Dr. Juan Manuel Cueva Lovelle**

*Universidad de Oviedo, España*

### **COMITÉ CIENTÍFICO**

**Dr. Cristina Pelayo**

*Universidad de Oviedo - España*

**Dr. Daniel Burgos**

*Universidad Internacional de la Rioja- Unir - España*

**Dr. Eduardw Rolando Nuñez**

*Universidad Carlos III de Madrid - España*

**Dr. I-Hsien Ting**

*National University of Kaohsiung - China*

**Dr. Jordán Pascual**

*Universidad de Oviedo - España*

**Dr. Luis Joyanes**

*Universidad Pontificia de Salamanca - España*

**Dr. Luz Andrea Rodríguez**

*Universidad de los Libertadores - Colombia*

**Dr. Manuel Pérez**

*Universidad de Vigo - España*

**Dr. Maria Mercedes Larrondo**

*Florida Atlantic University - Estados Unidos*

**Dr. Pablo Jojoa**

*Universidad del Cauca - Colombia*

**Dr. Paulo Gaona**

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia*

**Dr. Rafael Bello**

*Universidad Central de las Villas - Cuba*

**Dr. Raul Ramos**

*Universidad Industrial de Santander - Colombia*

**Dr. Roberto Ferro Escobar**

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia*

**Dr. Wilfrido Moreno**

*University of South Florida - Estados Unidos*

**PhD. Vicente García Díaz**

*Universidad de Oviedo -España*

### **COMITÉ EVALUADOR**

**M.Sc. Álvaro Morales González**

*Universidad Católica de Pereira - Colombia*

**M.Sc. Yoan Martínez López**

*Universidad de Camaguey - Cuba*

**PhD. Carlos Martínez Riascos**

*Universidad Nacional de Colombia - Colombia*

**PhD. Carlos Zuluaga Domínguez**

*Universidad Nacional de Colombia - Colombia*

**PhD. Martin Arango Serna**

*Universidad Nacional de Colombia - Colombia*

**PhD. Augusto Serna Urán**

*Universidad De San Buenaventura - Colombia*

**Esp. Enrique Varela**

*Universidad Simón Bolívar - Colombia*

**M.Sc. Gloria Bermúdez Jaimes**

*Universidad Nacional de Colombia - Colombia*

**M.Sc. Luz Andrea Rodríguez**

*Universidad de los Libertadores - Colombia*

**M.Sc. Alveiro Rosado Gómez**

*Universidad Francisco de Paula Santander – Colombia*

**M.Sc. Rubén Díaz Mateus**

*Universidad de la Salle – Colombia*

**M.Sc. Luis Castillo Méndez**

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia*

**M.Sc. Oscar Pérez Rodríguez**

*Universidad de la Salle - Colombia*

**PhD. Julián Solana Álvarez**

*Universidad Politécnica de Madrid - España*

## PREPARACIÓN EDITORIAL

**Angie Daniela González**

*Gestora editorial*

**Edna Johanna Cañas**

*Gestora editorial*

**Álvaro Quijano**

*Asistente editorial*

**Jenny Alexandra Jiménez**

*Corrección de Estilo*

**David Mauricio Valero**

*Diagramación*

**CORMA**

*Imagen Portada*

## REVISTA REDES DE INGENIERÍA

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

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

## COBERTURA TEMÁTICA

Las líneas de publicación de la revista están enmarcadas en las áreas de las Telecomunicaciones, Electrónica,

Sistemas, Bioingeniería, Eléctrica, Medio Ambiente, Educación, Industrial, Geomática; además de todos aquellos temas que converjan hacia la Ingeniería.

## MISIÓN

La revista Redes de Ingeniería tiene el objetivo de servir como medio de divulgación de los resultados obtenidos a través procesos de investigación, reflexión, indagación en entornos Educativos y Empresariales en temas de actualidad en “pro” del mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad en general.

## PÚBLICO OBJETIVO

Investigadores, docentes, estudiantes y demás profesionales de las ramas de la Ingeniería que deseen estar a la vanguardia de las teorías y/o tecnologías que rigen y regirán el mundo moderno desde un enfoque científico.

## REPRODUCCIÓN

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

## INDEXACIÓN

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

## DIRECCIÓN

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



# T abla de Contenido

## EDITORIAL

115

Algoritmo recursivo funcional para verificación y monitoreo de la densidad de números primos  
*Omar Iván Trejos Buriticá*

116-126

Control Simulado en Aspen Dynamics para la Producción de Epóxido de Limoneno a Escala Piloto  
*Yeison Agudelo Arenas, Rolando Barrera Zapata*

127-137

Implementación del modelo Lean Service en el proceso de recaudo de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Fincomercio Ltda  
*Jonny Alexander Gavilán Venegas, Adriana Patricia Gallego Torres*

138-147

Propuesta para la inclusión social de las TIC en la comunidad de la rivera del Río Magdalena en Girardot  
*Elkin Oswaldo Forero Soto*

148-155

Research inteligencia de negocios: estudio de caso sector tecnológico Colombiano

*Angie Alexandra Gutiérrez Camelo, Miguel Angel Devia Llanos, Giovanny Mauricio Tarazona Bermúdez*

156-169

Impacto De La Fragmentación Espacial Sobre El Valor De Los Inmuebles De Uso Residencial Utilizando La Metodología De Precios Hedónicos. Caso De Estudio: Mosquera, Cundinamarca.

*Laura Angélica Cadena Contreras, Wendy Yesenia Hernández Suárez, Héctor Javier Fuentes López*

170-182

Leyes de valoración de redes

*Juan MC Larrosa*

183-196



El equipo editorial de la revista *Redes de Ingeniería* presenta a los diferentes sectores de la ciudad de Bogotá D.C., de la ciudad región, del país y del mundo, la producción académica de los diversos sectores que dejan huella con sus aportes a la comunidad académica, a partir de artículos que dan cuenta de diferentes estados de procesos y proyectos de investigación, entre otros.

Una forma de lograr visibilidad y reconocimiento de nuestro trabajo y producción académica es por medio de las diferentes revistas y medios que con gran esfuerzo brindan un espacio para la divulgación de lo que estamos haciendo en los diferentes centros académicos. La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en su joven trayectoria, se está ubicando en los primeros lugares de reconocimiento entre las diferentes universidades del país, esto por su producción académica, lo que nos llena de orgullo; pero este esfuerzo de los investigadores de nuestra universidad requiere del constante apoyo de los diferentes estamentos, a fin de que cada vez más personas se sientan inspiradas y animadas a divulgar su producción en diferentes medios y escenarios, los nuestros y los externos, para que así no solo seamos visibles por pares que evalúan nuestra producción, sino por la sociedad a quienes debemos todo nuestro esfuerzo como centro de producción de soluciones y aportes para una mejor Bogotá, D.C.

Nuestra universidad cuenta con un cuerpo docente de excelencia, por sus capacidades y su formación, cuenta con los mejores estudiantes que en su mayoría nos entrega nuestra ciudad capital y un equipo administrativo que se esfuerza por llevar por un buen rumbo nuestra *Alma Mater*; lo que muestra que tenemos un potencial enorme en nuestro recurso humano, gracias a ello y bajo una mirada prospectiva la universidad emerge como las mejores. Así, la revista *Redes de Ingeniería* seguirá abierta para nuestros docentes y estudiantes y su producción; con el propósito de llevar a cabo una divulgación efectiva y para que se tenga un aliciente que anime a seguir en la generación de conocimiento y su divulgación.

Finalmente, como editor de este segundo volumen del año, debo reconocer el extraordinario trabajo realizado por el Dr. Carlos Montenegro, de quien recibí la revista y a quien agradezco la gestión realizada.

Jorge Enrique Salamanca Céspedes  
Editor Revista Redes de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería – Universidad Distrital FJC



## Algoritmo recursivo funcional para verificación y monitoreo de la densidad de números primos

### A recursive algorithm for verifying and monitoring density of prime numbers using Functional Programming

Omar Iván Trejos Buriticá<sup>1</sup>

**Para citar este artículo:** Trejos O.I. (2016). Algoritmo recursivo funcional para verificación y monitoreo de la densidad de números primos. *Revista Redes de Ingeniería*. 7(2), 116-126. Doi: 10.14483/udistrital.jour.redes.2016.2.a01

**Recibido:** 9-marzo-2016 / **Aprobado:** 25-julio-2016

#### Resumen

El presente artículo formula una solución recursiva, usando programación funcional, para la verificación y monitoreo de la densidad de los números primos que corresponde a la cantidad de números primos que se encuentran en un rango determinado. A partir de este planteamiento se hacen algunas reflexiones en torno a la relación entre matemática y programación de computadores, así como alrededor de las tendencias que se notan en la estimación progresiva de la densidad de los números primos cuando se hacen algunas modificaciones en los rangos de evaluación. El propósito de este artículo es poner a consideración de los lectores una solución simple y ágil en la solución del problema planteado, así como las reflexiones que de allí se derivan.

**Palabras clave:** algoritmo, densidad, números primos, programación de computadores, programación funcional, recursividad.

#### Abstract

This article presents a recursive and functional based form to solve the problem to verifying and monitoring density of prime numbers which means the proportional quantity of prime numbers in a specific range. From this approach you can find some thoughts around the relation between math and computer programming and the tendencies you can see in the progressive evaluation of prime numbers when you change the evaluation ranges. The proposal of this article is to show a simple and agile solution in the formulated problem and the thoughts around it.

**Keywords:** algorithm, computer programming, density, functional programming, prime numbers, recursion.

1. Ingeniero de Sistemas, Universidad Incca de Colombia; MSc. en Comunicación Educativa, Universidad Tecnológica de Colombia; PhD en Ciencias de la Educación, Universidad Tecnológica de Pereira; docente de planta, Universidad Tecnológica de Pereira. Correo electrónica: [omartrejos@utp.edu.co](mailto:omartrejos@utp.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

Un problema típico de las matemáticas lo constituye el análisis de la densidad de los números primos que consiste en el cálculo de la cantidad de números primos presentes en un rango definido por cotas o límites dentro de la recta de los números naturales. Este factor llamado densidad permite hacer algunas reflexiones en torno a las tendencias sobre las cuales se realizan análisis numéricos y matemáticos, que propenden por predecir comportamientos específicos de dichos números.

En relación con este problema y con sus posibles soluciones se han presentado algunas propuestas que resuelven problemas similares formulados por el mismo autor, en los cuales intenta abordar propuestas simples que sean claras para los estudiantes de primeros semestres de ingeniería de sistemas. De la misma manera, en la parte teórica, se acude a otros autores que han intentado relacionar las matemáticas con la programación de computadores en la búsqueda de resolver problemas que en otros tiempos han sido resueltos por métodos manuales y que en tiempos modernos se resuelven aprovechando las tecnologías computacionales y las facilidades que ellas proveen.

El problema a resolver podría resumirse en la construcción de un algoritmo simple y eficaz que permita verificar y monitorear la densidad de los números primos tanto en rangos definidos como en rangos variables. Establecer relaciones entre las matemáticas y la programación de computadores bajo el manto de un determinado paradigma de programación, desde la óptica de las soluciones simples, posibilita la incorporación de un conocimiento con significado para los estudiantes de primeros semestres de programación en Ingeniería de Sistemas y abre caminos para encontrar un sentido, desde el aprendizaje por descubrimiento, entre lo que están aprendiendo en las matemáticas y lo que intentan aplicar en la programación de computadores.

Lo novedoso del artículo es que presenta una solución simple que, al tiempo que permite monitorear y verificar la densidad de los números primos en rangos definidos en la recta de los números naturales, permite también hacer análisis de la tendencia en dicha densidad abriendo caminos al análisis numérico desde la óptica de la programación sobre la base de la inferencia y la predicción. Los límites para el correcto funcionamiento de esta propuesta de solución los establece la máquina (el computador), por esa razón se ha acudido al lenguaje de programación DrScheme, ya que es el que maneja rangos de números mucho más amplio que lenguajes más comerciales.

El objetivo de este artículo consiste en construir un algoritmo simple y eficaz que permita verificar y monitorear la densidad de los números primos tanto en rangos definidos como en rangos variables y que permita realizar observaciones sobre la tendencia de dicha densidad. Este artículo es producto del proyecto de investigación "Análisis pedagógico, instrumental y conceptual de algunos paradigmas de programación como contenido de la asignatura Programación I del Programa Ingeniería de Sistemas y Computación", aprobado por la Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Para el desarrollo de este artículo, como producto de investigación, se utilizó el compilador del lenguaje DrScheme entorno DrRacket versión 5.1. A manera de hipótesis se podría afirmar, desde una óptica investigativa, que siempre es posible encontrar caminos lógicos simples para resolver problemas que la matemática ha formulado desde hace mucho tiempo y que las tecnologías computacionales modernas proveen velocidades suficientes como para que dichas soluciones sean óptimas en su funcionamiento así no lo sean en su rendimiento. Este artículo se ajusta al estándar internacional IMRYD, es decir, primero presenta una introducción acompañado de una teoría, luego plantea la metodología dividida en dos partes (descripción y

aplicación), posteriormente plantea los resultados y sobre ellos abre un espacio de discusión para llegar a unas conclusiones y a unas referencias bibliográficas que le dan corpus investigativo.

## APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Se conoce como aprendizaje significativo el modelo pedagógico a través del cual se le concede significado al conocimiento que se adquiere en un proceso de aprendizaje para que este pueda ser aprendido, asimilado, apropiado y aplicado por un camino más llano. Esta teoría fue formulada por David Paul Ausubel [1] y según sus planteamientos, la base del aprendizaje se resume en el concepto de significado, es decir, en la relación entre lo conceptual y lo vivencial, la conexión entre lo que se plantea desde lo puramente teórico, lo que se vive y las posibles relaciones que se heredan de que dicho conocimiento tenga una representación práctica aplicativa en la vida cotidiana.

Según la teoría del aprendizaje significativo, el aprendizaje se basa en tres principios: el conocimiento previo, el nuevo conocimiento y la actitud del estudiante [1]. El conocimiento previo consiste en el conjunto de conceptos, teorías y planteamientos que se tienen al momento de iniciar un proceso de aprendizaje. El nuevo conocimiento está constituido por el conjunto de conceptos, teorías y planteamientos que, de una u otra forma, llegan bajo el rótulo “nuevo”, es decir, que no se conocía, que no se sabía o que no se había aprendido.

La actitud del estudiante se fundamenta en la motivación y la capacidad que el estudiante desarrolle para establecer relaciones entre el conocimiento previo y el nuevo conocimiento. Estas relaciones pueden ser de complementación, suplantación, renovación o innovación [2], de tal forma que el nuevo conocimiento, a la luz de estas relaciones, le conceden significado a lo adquirido bien sea este el puro conocimiento previo, el nuevo conocimiento o la complementación de ambos.

## Aprendizaje por descubrimiento

Esta es una vertiente de las teorías cognitivas formulada por el Jerome Seymour Bruner. De acuerdo a su teoría el aprendizaje involucra tres procesos casi simultáneos; de una parte, la adquisición de la información nueva, en segunda instancia el proceso de manipulación del conocimiento para adecuarlo a nuevas aplicaciones y la comprobación de la forma en que se ha manipulado la información y su evaluación en cuanto a la conveniencia frente a las tareas de aplicación [3].

De esta forma, adquisición, transformación y evaluación de una materia específica involucran el despliegue de las habilidades cognitivas de alto nivel, aunque al mismo tiempo se pueden intuir unas implicaciones de orden secundario: por un lado en el proceso de adquisición se ha de tener en cuenta lo que corresponde a la confiabilidad de las fuentes, de otra, en el proceso de transformación se debe considerar con especial atención la capacidad que se pueda tener para aplicar dicha transformación en relación con el conocimiento de forma que permita aplicarlo a otras tareas que pueden ser nuevas y en lo que compete a la evaluación se hace necesario tener unos elementos de juicio bastante sólidos que poder verificar si la transformación de la información es la apropiada desde el ángulo de las necesidades.

En la teoría del aprendizaje por descubrimiento se concede una importancia especial a la experimentación y, por tanto, al descubrimiento como ese fundamento a través del cual el estudiante construye sus propias estructuras cognitivas y las alimenta. Según Bruner “el ser humano aprende más fácilmente todo aquello que descubre” [4], y de esta manera consagra a la exploración, a la experimentación, al ensayo y al error como los elementos sustanciales que posibilitan el aprendizaje en tiempos modernos.

El descubrimiento es el camino para que la seducción permita la presencia de lo insólito [5].

El ser humano pareciera tener una predisposición temprana para lo inusual de manera que se tome distancia de lo habitual, para fijar la atención completamente en aquellos que, siendo insólito, capta los sentidos y captura toda nuestra atención. Bruner acierta cuando sostiene que en un contexto académico formativo si se aprovecha lo insólito como elemento instructivo dentro del proceso de aprendizaje y se le permite al estudiante que eso que empieza a conocer sea “descubierto”, podrá asimilarlo, apropiarlo, aplicarlo y evaluarlo de una forma más fácil.

Aquello que se considera insólito involucra un sentido direccional hacia el conocimiento que no es controlable fácilmente, sobre todo cuando se vive en un mundo mediado por las nuevas tecnologías de la información y la comunicación que constituyen un faro sin rumbo que abre posibilidades a la mente humana. Bruner le concede a la palabra “descubrimiento” el estatus de sinónimo de la palabra “fascinación” y ahí radica la esencia de su teoría de aprendizaje.

### **Teoría de números**

Como teoría de números se conoce la rama de las matemáticas que se ocupa de estudiar las propiedades de los números, especialmente de aquellos conocidos como números enteros y de los problemas derivados de su estudio [6]. Este estudio implica algunos problemas que bien podrían entenderse como “problemas no matemáticos”. Por lo tanto, podría decirse que la teoría de números se ocupa de estudiar los problemas cuando se estudian los números enteros.

La teoría de números, por su misma naturaleza ocupa una posición privilegiada similar a la relación que se puede establecer entre las matemáticas y otras ciencias del conocimiento. En algún sentido la teoría de números se calificaba con el nombre de “aritmética” en tiempos pasados; sin embargo, en la actualidad esta definición se usa

poco y los problemas que surgen producto del estudio de la teoría de números se refieren con su mismo nombre.

Los griegos descubrieron las leyes fundamentales de la aritmética, concebida como la base que subyace a todo lo que constituye la ciencia matemática. Fueron ellos quienes llegaron a plantear elementos tan definidos como la división euclidea, características de los números primos, el cálculo del máximo común divisor y el mínimo común múltiplo y otros planteamientos que aún siguen vigentes en nuestros días.

Lo que plantearon los griegos, dando inicio a la teoría de números, es que era posible definir la existencia de un lenguaje de los números que no significa que necesariamente ese lenguaje pudiera ser entendido plenamente. Un símil de nuestros tiempos podría ser el sistema de comunicación de los cetáceos que, si bien la ciencia ha definido claramente su existencia, no ha podido aún encontrar sus significados como en la lengua natural hablada de los seres humanos.

En su esencia, entonces, la teoría de números plantea las características y los elementos de juicio del análisis de los números y las relaciones tanto al interior de la matemática como con el entorno en el cual estos sirven de base para interpretar, modelar, analizar, intervenir y optimizar el mundo [7]. En su más simple concepción la teoría de números incluye unos campos plenamente definidos como son: la teoría elemental de los números (que se ocupa de estudiar los números enteros sin que se acuda a técnicas de otros campos de la matemática), la teoría analítica de los números (se basa en el cálculo y en el análisis complejo), la teoría aditiva de los números (se ocupa de los problemas de representación de los números), la teoría algebraica de los números (se ocupa de la expansión del concepto de número al algebra), la teoría geométrica de los números (se ocupa de la relación entre geometría y teoría de números), la teoría combinatoria de los



números (se ocupa de estudiar los números desde la óptica de las probabilidades y la combinatoria) y la teoría computacional de los números (se ocupa de estudiar los algoritmos que se consideran relevantes en la teoría de números).

## Números primos

En matemáticas, y a la luz de la teoría de números, un número primo es un número, de los llamados naturales, que es mayor que 1 y que tiene solamente dos divisores exactos: el número 1 y el mismo número. De esta forma puede decirse que, teóricamente, los números primos son las antípodas conceptuales de los números compuestos que se definen como aquellos que tienen por lo menos un divisor natural distintos de ellos mismos y del número 1 [8].

Es de anotar que la propiedad de ser un número primo se conoce como primalidad y que en algunos textos la primalidad se refiere a primalidad impar dado que el único número que siendo par es también primo es el número 2. También vale la pena tener en cuenta que el número 1, por definición, no se considera como número primo. El estudio de los números primos es objeto de estudio de la teoría de números [9].

Los números primos parecieran ser números distribuidos aleatoriamente pero su distribución general se ajusta a leyes notoriamente definidas que no se conocen todavía completamente y que, con la ayuda de la tecnología computacional, se puede llegar a aproximaciones que en algún sentido describan dicha distribución.

## Densidad de los números primos

En el libro VII de los *Elementos*, Euclides empieza con una relación de veintidós definiciones básicas, entre las cuales se presentan: un número par es aquel que es producto de dos números enteros iguales y un número impar es aquel que no tiene dicha propiedad.

De la misma forma, Euclides establece que un número primo es aquel que no tiene más divisores enteros que la unidad y el mismo número. Si tiene divisores mayores que 1 y diferentes de sí mismo, Euclides lo definía como un número compuesto.

Euclides pudo demostrar algunos resultados fundamentales en relación con los números primos [10], como por ejemplo:

- Si un número primo  $p$  divide el valor resultado de un producto  $ab$ , entonces  $p$  divide al menos a uno de los dos números  $a$  o  $b$ .
- Cada número natural puede ser primo o puede ser expresado como el producto de los números primos de un modo único independientemente del orden en que dichos factores sean escritos.
- Los números primos son infinitos en cantidad.

El segundo de los planteamientos anteriores es conocido como el teorema fundamental de la aritmética. Los números primos, de acuerdo a lo que dice este planteamiento, son como la célula en los seres vivos tal que todo lo demás está construido a partir de ellos. Los números primos son la base para que todos los demás números naturales existan a partir de procesos multiplicativos. De esta manera cualquier número natural puede ser descompuesto en sus factores primos, es decir, en los números primos que (al multiplicarse) originan el número evaluado. Ahora bien, el tercer planteamiento llega a ser sorprendente para quien haya dedicado algo de su tiempo a escribir los números primos. No se puede desconocer que en la medida en que se avanza en los números naturales, el hallazgo de los números primos se hace cada vez más escaso, pero no resulta totalmente claro que se acaben en un límite determinado. En el rango de 1 a 100, existen 26 números primos sin embargo en el rango de 200000 a 200100 solo existen 9 números primos.

Uno de los métodos que posibilitan una idea precisa de cómo se distribuyen los números primos

consiste en prestar atención a lo que se llama la densidad de los números primos, la cual establece la proporción de los números primos en un rango determinado. Si se quiere obtener la densidad de números primos correspondientes a un número límite  $N$  se debe tomar la cantidad de números primos menores que  $N$  que se designa  $\pi(N)$  y se divide entre  $N$ .

En el caso de que  $N$  sea 100, por ejemplo, la respuesta es 0.168 lo que indica que aproximadamente uno de cada seis números menores que 100 es un número primo. Para  $N=1.000.000$  la proporción desciende hasta 0.078, es decir, cerca de uno de cada trece y para  $N=100.000.000$  este factor de densidad es igual a 0.58 (aproximadamente 1 de cada 17). A medida que  $N$  crece esta reducción continúa. (Keith, 2002). Es de anotar que de que la proporción  $\pi(N)/N$  tiende a disminuir, pareciera que los números primos no se extinguen del todo.

## El concepto de función

La función es el núcleo lógico a partir del cual se construye un programa bajo la perspectiva “divide y vencerás”. La función, en su definición algorítmica, está compuesta por un conjunto de instrucciones que tienen un nombre (en primera instancia único), que puede recibir argumentos (en programación funcional) o parámetros (en programación estructurada) y que pueden retornar o devolver un valor bien sea de manera automática como en la programación funcional o de manera explícita como en la programación estructurada que cristalice su razón de ser dentro de un contexto algorítmico [11].

La función simplifica el proceso de atomización de una solución, es decir, posibilita que un objetivo complejo sea dividido en pequeños y simples objetivos de manera que luego, al articularlos, se puede resolver el problema original a partir del enlace estratégico de las funciones. La función es como un pequeño programa que, a su vez, permite lograr un pequeño objetivo.

La función puede considerarse como la base lógica para abordar el paradigma funcional y capitalizarlo al máximo, para aprovechar las potencialidades de la programación estructurada y para simplificar el mundo a partir de la metodología orientada a objetos dado que la función constituye la base teórica para la construcción de los métodos en este paradigma.

## Programación funcional

Se podría decir que la programación funcional es la arista de la programación declarativa que le concede mayor relevancia al concepto de función y que capitaliza sus características para que, en unión de la filosofía “divide and conquer” (divide y vencerás), posibilite la construcción de programas de gran simplicidad, fáciles de administrar en su código y mucho más fáciles de modificar cuando sea el caso [12].

La programación funcional concibe la programación como el diseño apropiado de unas funciones que logran objetivos específicos y que, enlazadas con otras funciones, permiten lograr un objetivo general que es el que justifica la realización del programa. A la luz de la programación funcional, todo gira alrededor del concepto de función y, por tanto, constituye su objeto de estudio más importante.

La programación funcional se basa en los postulados matemáticos del cálculo Lambda ( $\lambda$  calculus) propuesto por el matemático Alonzo Church, profesor de la Universidad de Princeton. Church estaba particularmente interesado en lo que la matemática abstracta proveía y especialmente en su aplicación a partir del poder computacional.

Este matemático se cuestionó qué pasaría si se dispusiera de máquinas con poder ilimitado y qué tipo de problemas se podría solucionar con ellas, en la búsqueda de respuestas a este interrogante. Church, hacia 1936, planteó un lenguaje abstracto al que llamó Cálculo Lambda en el cual usaba como mecanismo de cómputo la evaluación de

expresiones. En esos mismos tiempos, Alan Turing, otro matemático desarrolló una máquina abstracta con la cual intentaba resolver los mismos problemas que le preocupaban a Church.

## MÉTODOS

### Descripción

Para la construcción de este programa se acudió al lenguaje de programación Scheme entorno DrRacket versión 5.1. El algoritmo solución [13], ha sido ejecutado en computadores portátiles convencionales y computadores de escritorio comerciales y los resultados han tenido los mismos resultados tanto en lo numérico como en el rendimiento y en la eficiencia. Para efectos de entender el código que a continuación se presenta (Figura 1) debe anotarse que los signos “;;” indican el inicio de un comentario.

```
;;=====
=====
;; DENSIDAD DE LOS NUMEROS PRIMOS
;; CONTEO DE PRIMOS EN RANGOS REGULARES CON UN TOPE
MAXIMO
;; Este programa muestra cuantos números existen en un rango
;; determinado para lo cual se necesita recibir como argumentos
;; el valor inicial, el valor final del primer rango, el
;; tope final de todo el proceso y el tope parcial de cada rango
;;=====
=====
;; Función que determina si un valor es múltiplo de otro
;; *****
(define (divisor a b) ;; Definición función divisor
(if (= (remainder a b) 0) ;; Si un valor divide exactam. al otro
1 ;; entonces retorne Verdadero
0 ;; sino retorne Falso
)) ;; Fin condicional - Fin función divisor

;; Función que cuenta la cantidad de divisores de un n
;; (rango 2, sqrt n)
;; *****
```

```
(define (cuentadivisores num div) ;; Función cuentadivisores
;; Si se llegó al tope de evaluación
(if (>= div (floor (/ (sqrt num) 1)))
;; Entonces llamar a función divisor con argumentos
;; num y la parte entera de la raíz cuadrada de num
(divisor num (floor (/ (sqrt num) 1)))
;; Sino sumar lo que devuelva la función divisor con
;; argumentos num y div con la misma función cuentadivisores
;; enviándole num y div+1
(+ (divisor num div)
(cuentadivisores num (+ div 1)))
)) ;; Fin condicional - Fin función cuentadivisores

;; Función que determina si un valor es primo
;; *****
(define (esprimo n) ;; Definición función esprimo
;; Si el valor n evaluado no tiene divisores exactos
;; en el rango 2 - raíz cuadrada de n
(if (= (cuentadivisores n 2) 0)
1 ;; Entonces retorne un valor Verdadero
0 ;; Sino retorne un valor Falso
)) ;; Fin condicional - Fin función esprimo

;; Función que cuenta los primos de un rango
;; *****
(define (cuentaprimos li ls) ;; Definición función cuentaprimos
(if (= li ls) ;; si el líminf es igual al límsup
(esprimo li) ;; entonces evaluar si el liminf es primo
;; sino sumar lo que devuelva la función esprimo con argum limsup
;; mas lo que retorne la misma función cuentaprimos
(+ (esprimo ls)
(cuentaprimos li (- ls 1))))))

;; Contador de primos con limites definidos
;; *****
(define (cp li ls) ;; definición función cp
(if (= li 1) ;; Si el lím inf es igual a 1
;; entonces sume 2 mas lo que retorne la función
;; cuentaprimos con argumentos 2 y lim sup
(+ 2 (cuentaprimos 2 ls))
;; Sino llame a la función cuentaprimos con
;; argumentos lim inf y lim sup
(cuentaprimos li ls)
)) ;; Fin condicional - Fin función cp
```

```

;; Tabla de densidad de primos (cada n numeros)
;; *****
(define (fila li ls np) ;; Definición función fila
;;(newline)
  (display li) ;; Muestre el lim inf
  (display ", ") ;; Muestre separador
  (display ls) ;; Muestre el lím sup
  (display ", ") ;; Muestre separador
  (display np) ;; Muestre número de primos en el rango
  (display ", ") ;; Muestre separados
;; Almacene el factor de densidad de los números primos
  (set! np (/ np (- ls li)))
;; Muestre separador
;; Muestre el factor densidad de primos
  (display (* np 1.0)) ;; Muestre el valor en formato real
  (newline) ;; Pase a la siguiente línea
  0 ;; Retorno Falso
) ;; Fin Función fila

;; Función que pone un título
;; *****
(define (titulo) ;; Definición función titulo
;; Despliegue de títulos
  (display "(LimInf, LimSup, NumPrim, Densidad)")
  (newline) ;; Pase a la siguiente línea
) ;; Fin función titulo

;; Función que selecciona los datos de cada fila
;; *****
(define (proceso li ls tope paso) ;; Definición función
proceso
  (if (= li tope) ;; Si líminf es igual a tope
    0 ;; entonces retorne valor Falso
    ;; Sino suma lo que retorne la función fila
    ;; mas lo que retorne la función proceso
    (+ (fila li (+ li paso) (cp li (+ li paso)))
      (proceso ls (+ ls paso) tope paso)))
  )) ;; Fin condicional - Fin función proceso

;; Función que genera la tabla
;; *****
(define (tabla li ls tope paso) ;; Fin función tabla
  (newline) ;; Pase a la siguiente línea
  (titulo) ;; Mostrar título

```

```

;; Iniciar proceso con argumentos lím inf, lím sup, tope y paso
;; li (límite inferior), ls (límite superior), tope (valor hasta
;; donde se llegará con la evaluación), paso (avance para evaluación)
(proceso li ls tope paso)
) ;; Fin función tabla

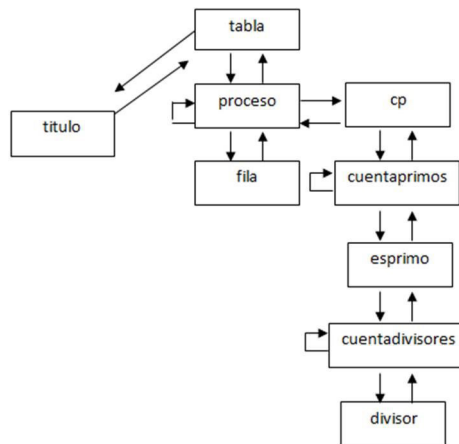
```

**Figura 1.** Densidad de los números primos, conteo de primos en rangos regulares con un tope máximo.

### Aplicación

El esquema funcional del programa presentado se muestra en la Figura 2. Como se puede notar, el esquema funcional diagrama 1 presenta la relación entre las funciones y, de esa forma, tener un panorama general claro del programa en su conjunto. La función inicial es la función tabla, esta llama a la función título y luego llama a la función recursiva proceso que, a su vez, llama a la función fila.

La función proceso llama a la función cp que a su vez llama a la función recursiva cuentaprimos, esta llama a la función esprimo quien a su vez llama a la función recursiva cuentadivisores la cual, por último, llama a la función divisor. Es claro que la gran característica de este programa es que se acude a la recursividad nivel III para facilitar su concepción algorítmica. La recursividad nivel III es la que se presenta cuando una función recursiva acude a una o más funciones recursivas para lograr su objetivo.



**Figura 2.** Esquema Funcional.

## RESULTADOS

Cuando se ejecuta este programa se obtienen los resultados que indica la teoría alrededor del factor de densidad de números primos el cual, dicho sea de paso, es constante dentro de un mismo rango. Tal como lo indica el fundamento teórico de la densidad de los números primos los rangos a evaluar son (1, 10), (1, 100), (1, 1000), (1, 10000) y el rango (1, 100000). La ejecución del programa en entorno DrRacket genera los resultados de la tabla 1.

**Tabla 1.**

> (tabla 1 10 10 10)
(LimInf, LimSup, NumPrim, Densidad)
1, 11, 5, 0.5
0
> (tabla 1 100 100 100)
(LimInf, LimSup, NumPrim, Densidad)
1, 101, 26, 0.26
0
> (tabla 1 1000 1000 1000)
(LimInf, LimSup, NumPrim, Densidad)
1, 1001, 168, 0.168
0
> (tabla 1 10000 10000 10000)
(LimInf, LimSup, NumPrim, Densidad)
1, 10001, 1229, 0.1229
0
> (tabla 1 100000 100000 100000)
(LimInf, LimSup, NumPrim, Densidad)
1, 100001, 9592, 0.09592
0

Este mismo programa posibilita usarlo de otra forma. Supongamos que quisiéramos analizar la densidad de los números primos por rangos, por ejemplo, que se quisiera saber cuántos números primos hay entre 1000 y 10000 analizando por rangos temporales de 1000 números, es decir, evaluar la densidad entre 1000 y 2000, entre 2000 y 3000, entre 3000 y 4000 y así sucesivamente hasta llegar

al rango comprendido entre 9000 y 10000. Su ejecución genera los resultados de la tabla 2.

**Tabla 2.**

> (tabla 1000 2000 10000 1000)
(LimInf, LimSup, NumPrim, Densidad)
1000, 2000, 135, 0.135
2000, 3000, 127, 0.127
3000, 4000, 120, 0.12
4000, 5000, 119, 0.119
5000, 6000, 114, 0.114
6000, 7000, 117, 0.117
7000, 8000, 107, 0.107
8000, 9000, 110, 0.11
9000, 10000, 112, 0.112
0

Ahora bien, si se quisiera evaluar la densidad en el rango de 100000 a 500000 por rangos de 100000, los resultados se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.**

> (tabla 100000 200000 500000 100000)
(LimInf, LimSup, NumPrim, Densidad)
100000, 200000, 8392, 0.08392
200000, 300000, 8013, 0.08013
300000, 400000, 7863, 0.07863
400000, 500000, 7678, 0.07678

## DISCUSIÓN

Primeramente, se puede notar que la recursividad posibilita la construcción de algoritmos sencillos, fáciles de concebir y muy fáciles de entender para abordar problemas que, como este, son tradicionales en las matemáticas. De una parte, la tecnología computacional posibilita encontrar resultados en rangos mucho más amplios que los que convencionalmente se han encontrado. De otra parte, el paradigma funcional permite que dichos algoritmos se puedan basar en el concepto de función que,

debidamente enlazado tal como se observa en la figura 1, simplifica las pruebas parciales a las funciones, simplifica el objetivo y facilita la reutilización de funciones ya construidas.

Llama la atención de que, tal como lo tenía previsto Euclides, en la medida en que se amplía el rango de evaluación para conocer la densidad de los números primos o en la medida en que se analiza dicha densidad por rangos continuos, pareciera que la densidad tendiera a disminuir. Si bien Euclides, Riemann, Fermat y otros matemáticos encontraron demostraciones para indicar que el conjunto de números primos es infinito y que la descomposición de los números enteros en sus factores primos así lo demuestra, queda la inquietud acerca de la búsqueda de números primos de orden superior (aquellos que tienen más de 1000 dígitos) y la densidad asociada dentro de su rango respectivo de ubicación dentro de los números naturales.

La evaluación de la densidad de los números primos en rangos contiguos significativos (que tengan 1000 o más de 1000 números naturales) indica que en la medida en que se avanza, se hace más escaso el hallazgo de dichos números primos. ¿Sería posible que se encuentre un rango a partir del cual ya no existan más números primos? La matemática a través de la descomposición de números primos dice que no, sin embargo, la tecnología computacional podría decir algo diferente en la medida en que algoritmos como el que se presenta en este artículo sean ejecutados en computadores de alto rendimiento sobre rangos de 1000000 dígitos o más.

## CONCLUSIONES

Es posible encontrar soluciones a problemas que tradicionalmente la matemática ha planteado a partir de las tecnologías computacionales y de la algoritmia moderna. La programación funcional posibilita caminos para que estudiantes de los primeros semestres de Ingeniería de Sistemas puedan

encontrar soluciones óptimas, fáciles de concebir y fáciles de mantener en relación con su concepción algorítmica. Muchas teorías que hasta el momento se han demostrado por mecanismos y formulaciones matemáticas, en tiempos modernos se pueden confirmar, rebatir, reforzar o controvertir a través de la tecnología computacional que la electrónica provee. Una de las aristas de utilización de la computación de alto rendimiento podría ser la ejecución de algoritmos que vayan en el sentido de las demostraciones que las matemáticas han presentado hasta el momento.

Las inferencias alrededor de la densidad de los números primos pueden llegar a ser controvertidas a través de los resultados que la tecnología computacional provee. Es posible encontrarle significado a problemas matemáticos a través de la utilización de la tecnología computacional y de la programación de computadores como punto de encuentro entre las ciencias de la computación y la misma matemática. Es posible aplicar los fundamentos del aprendizaje significativo para que los estudiantes de ingeniería se motiven, adquieran nuevos conocimientos y los relacionen con conocimientos previos de forma que asimilen, apropien y apliquen la programación de computadores en la solución de problemas de las matemáticas. Es posible encontrar caminos que le permitan al estudiante descubrir nuevas soluciones y nuevas verificaciones a soluciones existentes a problemas matemáticos a partir de la tecnología computacional moderna aplicando los fundamentos del aprendizaje por descubrimiento. Todo planteamiento matemático puede tener un equivalente algorítmico que puede ser revalidado con las tecnologías computacionales modernas.

## REFERENCIAS

- [1] P. Ausubel, *Sicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas. 1986.
- [2] J. Medina, *Los 12 principios del cerebro*. Bogotá, D.C.,: Grupo Editorial Norma, 2010.

- [3] J. Bruner, *Hacia una teoría de la instrucción*. Manuales Uteha, No. 373, México: Editorial Hispanoamericana, 1969.
- [4] J. Bruner, *Actos de significado, Más allá de la revolución cognitiva*, Madrid: Alianza Editorial, 1991.
- [5] G. Small, *El cerebro digital*, Barcelona: Editorial Urano, 2010.
- [6] W. Mora, *Introducción a la teoría de números*. San José, Costa Rica: Escuela de Matemática. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2010.
- [7] C. Ivorra, *Teoría de Números*, Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, Editorial Sanz y Torres, 2010.
- [8] R. Crandall, C. and Pomerance, *Prime Numbers, a computational perspective*. 2nd Ed. NY, USA: Springer Science+Business Media, 2005.
- [9] P. Montgomery, "A Survey of Modern Integer Factorization Algorithms". *Quarterly Journal*, vol. 7(4), pp. 337. 1994.
- [10] K. Devlin, *El lenguaje de las matemáticas*. Barcelona. España: MaNon Troppo, Ediciones Robinson, 2002.
- [11] O. Trejos, *La esencia de la lógica de programación*. Manizales: Centro Editorial Universidad de Caldas, 2000.
- [12] P. Van Roy, *Concepts, techniques and models of Computer Programming*. Switzerland: Universidad Católica de Lovaine. Swedish Institute of Computer Science, 2003.
- [13] O. Trejos, "Algoritmo de optimización para la detección de un número primo basado en programación funcional utilizando DrScheme", *Scientia et Technica*, vol. 17 (47), abril, 2011.





## Control simulado en Aspen Dynamics para la producción de epóxido de limoneno a escala piloto

Simulated control in Aspen Dynamics for the production of limonene epoxide at pilot scale

Yeison Agudelo Arenas<sup>1</sup> Rolando Barrera Zapata<sup>2</sup>

**Para citar este artículo:** Agudelo, Y. y Barrera, R. (2016). Control simulado en Aspen Dynamics para la producción de epóxido de limoneno a escala piloto. *Revista Redes de Ingeniería*. 7(2), 127-137. Doi: 10.14483/udistrital.jour.redes.2016.2.a02

Recibido: 9-marzo-2016 / Aprobado: 25-julio-2016

### Resumen

En la presente contribución se reporta el estudio y análisis del sistema de control (simulado) para el proceso de obtención de epóxido de limoneno. El modelado del proceso a escala piloto se implementó en el software Aspen Plus a partir de reportes de la literatura. Para el estudio del control del proceso se usó el software Aspen Dynamics. El modelo permite observar el comportamiento de variables de interés en el proceso como flujos de salida de la torre de destilación, requerimientos calóricos, temperaturas de operación y pureza del producto final. El desempeño de los controladores (de nivel, flujo y temperatura) se evaluó simulando perturbaciones (+30%) en el flujo de alimentación al proceso. Análisis de sensibilidad y especificaciones de diseño preliminares permiten concluir que de acuerdo a las simulaciones es posible obtener epóxido de limoneno (97,5% p/p) con este sistema. Los resultados de este trabajo pueden utilizarse para un estudio más detallado del sistema o como insumo para proponer diseños experimentales que ayuden a determinar el punto de

operación de las principales variables con los que se favorezca la producción de epóxido de limoneno.

**Palabras clave:** análisis de sensibilidad, Aspen Dynamics, procesos dinámicos, simulación en Aspen, sistema de control.

### Abstract

In this contribution is reported the study and analysis of the control system (simulated) for the process of obtaining limonene epoxide. The modelling of the process at pilot scale was implemented in the software Aspen Plus from literature reports. Aspen Dynamics was used for the study of the process control. The model allows observing the behavior of the variables of interest in the process such as outflows from the distillation tower, heat duty, operating temperatures and purity of the final product (limonene epoxide). The performance of the controllers (level, flow and temperature) was evaluated by simulating disturbances (+30%) in the feedstream to the process. Sensitivity analysis and preliminary design specifications allow to conclude that according to the

1. Ingeniero químico; docente catedrático, Grupo de Investigación CERES-Agroindustria & ingeniería, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia. Correo electrónico: ydejesus.agudelo@udea.edu.co
2. Ingeniero químico; magíster en Ciencias Químicas; doctor en Ingeniería; docente asistente, Grupo de Investigación CERES-Agroindustria & ingeniería, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia. Correo electrónico: rolando.barrera@udea.edu.co

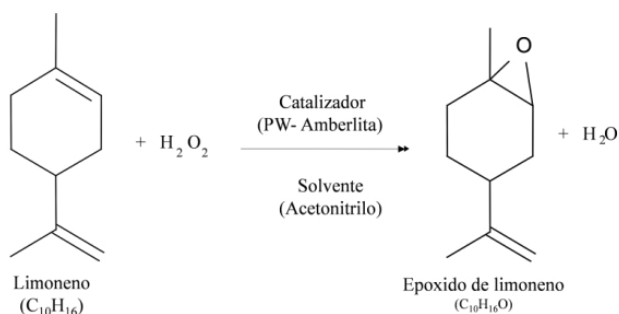


simulations it is possible to obtain limonene epoxide (97,5% w/w) with this system. The results of this work can be used for more detailed studies of the system, including experimental study designs that help to determine the operating point for the process variables which increase limonene epoxide production.

**Keywords:** análisis de sensibilidad, Aspen Dynamics, procesos dinámicos, simulación en Aspen, sistema de control.

## INTRODUCCIÓN

El epóxido de limoneno es un compuesto de alto valor agregado que se obtiene a partir del limoneno, sustancia presente en cítricos como la cáscara de la naranja [1]. El epóxido de limoneno se utiliza en industria de fragancias, saborizantes y agroquímicos [2]. Para la obtención del epóxido a partir de la oxidación selectiva del limoneno, se ha reportado que con el sistema catalítico PW-Amberlita (catalizador sólido), peróxido de hidrógeno acuoso (oxidante) y acetonitrilo (solvente), se obtienen altas productividades (conversión de limoneno ~80% y selectividad al epóxido ~90%). Uno de los mayores atractivos de este sistema catalítico, figura 1, es que al utilizar como oxidante el  $H_2O_2$ , se disminuye notablemente la generación de desechos contaminantes con respecto a otros sistemas propuestos; adicionalmente, el sistema permite recuperar y re-utilizar el catalizador [3].



**Figura 1.** Esquema de la reacción de epoxidación de limoneno.

Diversos estudios de este sistema se han enfocado en el entendimiento y optimización del sistema de reacción; por lo cual en la literatura se puede encontrar información que abarca desde el estudio de propiedades termodinámicas hasta expresiones cinéticas, así como el modelado, simulación y diseño conceptual de reactores por lotes [2,3], donde se determinan parámetros óptimos de operación para dicho sistema catalítico. No obstante, para el análisis de una eventual implementación del proceso en la industria agroquímica se hace necesario estudiar e incorporar en el sistema aspectos fundamentales como el escalado, producción en continuo (estado estacionario) y estrategias de control que garanticen la operación segura y eficiente del proceso.

Muchos procesos industriales suelen ser de naturaleza dinámica, en ellos las condiciones del proceso varían continuamente con el tiempo y, si no se operan de manera adecuada, las variables importantes del proceso, es decir, aquellas que se relacionan con la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, podrían no cumplir con las condiciones de diseño [4]. Por tratarse de sistemas dinámicos, no existe un punto fijo de operación alrededor del cual se pueda diseñar un sistema de control [5], así que la evolución del sistema en el tiempo (trayectoria) dependerá de las condiciones de operación del proceso tales como temperaturas, niveles, presiones y flujos [4]. Determinar cuáles parámetros manipular y el momento en que será más significativo manipularlos es de particular interés. Para ello, se hace importante considerar el uso razonable de herramientas de computación adecuadas que permitan modelar y simular el proceso, permitiendo disminuir costos de investigación e impactos negativos en el ambiente, producto de la ejecución de experimentos en laboratorio.

Con el objeto de disminuir la brecha tecnológica entre los estudios realizados alrededor del proceso para la epoxidación de limoneno y su eventual implementación en la industria, en esta

investigación se implementan modelos en el software especializado Aspen Dynamics para simular y analizar las estrategias de control requeridas en la operación del sistema de reacción, incluyendo además una etapa adicional para la recuperación del epóxido de limoneno de la mezcla resultante. Los modelos implementados en Aspen Dynamics, tanto para la reacción como para la recuperación del epóxido, se ilustran de manera detallada para que eventualmente puedan ser adaptados al estudio y análisis de otros sistemas relacionados o con fines académicos en cursos propios de programas de ingeniería química o ingeniería de procesos.

## METODOLOGÍA

Las simulaciones se desarrollaron utilizando software de simulación Aspen Plus y Aspen Dynamics versión 8.0. [6], simuladores comerciales ampliamente utilizados en la industria de procesos químicos, petroquímicos, farmacéuticos y biotecnológicos, entre otros. Con Aspen Plus es posible predecir el comportamiento físico, químico y termodinámico de un proceso, a partir del diseño y la selección de los modelos termodinámicos apropiados, los cuales se seleccionan según el tipo de componentes y condiciones de operación. Aspen Plus permite modelar gran variedad de aplicaciones tanto en estado estacionario como no estacionario. Actualmente, se ha reportado su aplicación en diferentes sistemas de reacción y separación, así como a plantas de procesos completos, encontrándose buena concordancia entre datos reales y datos determinados a través de las simulaciones en el software [7,8]. El software provee una amigable interfaz que permite describir sistemas reaccionantes incluyendo sustancias, conectividad, secuencias computacionales y una extensa base de datos de propiedades físicas y químicas para modelar las propiedades de las corrientes del proceso. El uso de Aspen Plus permite un sencillo desarrollo, mantenimiento y actualización de modelos. A continuación se describe la implementación de los

modelos para el sistema de reacción y el sistema de separación, así como la configuración para el sistema de control.

## Simulación del sistema en continuo

El diagrama de flujo para el sistema de reacción en continuo se muestra en la figura 2. Se supone una batería de dos reactores CSTR de aproximadamente 13 litros (altura 0,306 m y diámetro 0,235 m) cada uno, operando al 80% de su capacidad y con un tiempo de residencia total cercano a 22 horas (bloques CSTR y CSTR2, figura 2). Esto con el objeto de simular un proceso continuo que produce alrededor de 1000g de epóxido de limoneno por hora, según datos reportados por Barrera et al [2]. El modelo estacionario en Aspen Plus se implementó utilizando las estrategias de simulación (paso a paso) reportadas por Agudelo et al [9]. Los reactores se simularon operando a 1 atmósfera de presión y 33 °C, con un flujo másico inicial de 11333,1 g/h (0,303 kmol/h) y una composición molar en la mezcla de alimentación de 0,03, 0,06, 0,27 y 0,64 para limoneno, peróxido de hidrógeno, agua y acetonitrilo, respectivamente [2].

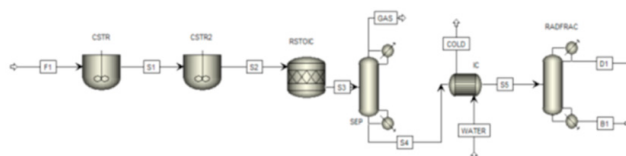
Considerando datos experimentales para el sistema real [2], se espera que la conversión del limoneno sea aproximadamente del 80% a la salida del segundo reactor. Con el sistema operando a las condiciones de alimentación reportadas (temperatura, presión y concentración inicial de reactivos), la corriente de salida de los reactores estará compuesta principalmente por epóxido de limoneno, agua, acetonitrilo y el limoneno que no alcanza a reaccionar [2]; sin embargo, frente a eventuales fluctuaciones en dichas condiciones, la corriente de salida de los reactores (corriente S2, figura 2) podría eventualmente contener peróxido de hidrógeno. Por otro lado, para la etapa de separación (bloque RADFRAC, figura 2) esta sustancia no se considera en el sistema ya que según los reportes de Agudelo [10], la temperatura a la cual ingresa la mezcla a este bloque garantiza la descomposición

completa del peróxido en agua y oxígeno. Como se observa en la figura 2, en el diagrama de flujo para la simulación, adicional a los reactores y la torre de destilación se incluyen tres bloques (RSTOIC, SEP e IC, figura 2) que permiten simular la adecuación de la corriente de salida del reactor (corriente S2) a las condiciones de entrada requeridas para la corriente de entrada a la torre de destilación (corriente S5, figura 2), incluyendo la descomposición del peróxido de hidrógeno.

El bloque “RSTOIC” consiste en un reactor estequiométrico, donde se simula, a las condiciones de salida de los reactores CSTR (33 °C, 1 atm de presión), la descomposición total del peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno, según la reacción  $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ . El bloque SEP consiste en un separador donde la corriente S3 (salida del reactor estequiométrico), se divide en dos corrientes: GAS y S4. La corriente GAS lleva el oxígeno formado por la descomposición de peróxido de hidrógeno y parte del agua, de modo tal que la corriente S4 lleva epóxido de limoneno, limoneno, acetonitrilo y agua. En este bloque se retira agua del sistema a través de la corriente GAS para garantizar la presencia de una sola fase líquida en la corriente que irá posteriormente a la torre de destilación, pues el exceso de agua desplaza el equilibrio líquido-líquido del sistema fuera de la zona de miscibilidad total [10]. En un sistema real, tal separación es posible usando adsorbentes o filtros específicos selectivos al agua. Por su parte el bloque IC (intercambiador de calor) simula el calentamiento de la corriente S4 (33°C) a la temperatura de alimentación a la torre (bloque RADFRAC, figura 2), 77 °C. En la simulación se supone vapor de agua como fluido de calentamiento (100°C).

El bloque RADFRAC (figura 2) simula la torre de destilación donde se recupera el epóxido de limoneno. Este se especifica en las simulaciones utilizando información y siguiendo recomendaciones de Barrera *et al.* [11], quienes determinan que es posible llevar a cabo la separación de la mezcla en

cuestión en una columna de destilación de ocho etapas (6 platos + condensador + rehervidor), alimentación en el plato número 4, relación de reflujo de 3,1, condensador total y especificada de tal modo que la composición de epóxido de limoneno en los fondos presente un porcentaje másico mayor al 90%.

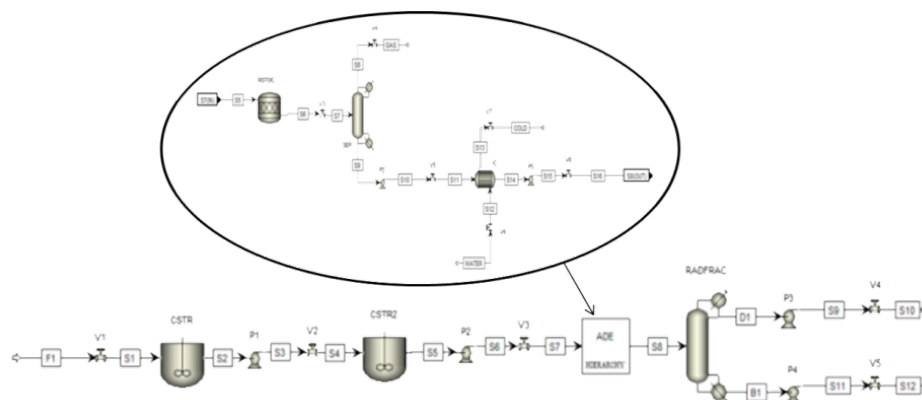


**Figura 2.** Diagrama de flujo del proceso en continuo para la obtención del epóxido de limoneno.

En la figura 3 se muestra nuevamente el diagrama de flujo para la simulación del proceso una vez incluidos equipos hidráulicos como bombas (bloques P1, P2, P3 y P4) y válvulas (bloques V1, V2, V3, V4 y V5) que permiten simular el control del proceso. Para efectos de simplicidad y considerando que los bloques RSTOIC, SEP e IC no se incluyen en la estructura de control que se propone posteriormente para los reactores y la torre de destilación, estos tres bloques se agrupan en un sub-proceso o “Jerarquía” nombrado como el bloque ADE (figura 3).

### Simulación del sistema dinámico

Para simular la dinámica del proceso, el modelo en Aspen Plus (figura 3) se ejecuta en “modo dinámico” y se definen las especificaciones requeridas para cada equipo. En este caso se considera la producción piloto definida (1000g epóxido por hora) y sus correspondientes especificaciones de alimentación. De acuerdo a las estimaciones de Agudelo [10], para la torre de destilación se define un diámetro de 9,3 cm y una altura de 4,39 m. El diámetro del tanque de reflujo (“Reflux drum”) es 0,179 m y su longitud es 0,358 m, mientras que el sumidero o “Sump” tiene un diámetro de 0,256 m y una longitud de 0,512 m. Se mantienen en la



**Figura 3.** Diagrama de flujo del proceso incluyendo equipos hidráulicos.

simulación los valores por defecto (en el software) para la altura del vertedero y la separación entre platos (0,05 y 0,6096 m, respectivamente). Para simular la forma en que se transfiere el calor en la torre, se utiliza la opción de calor constante o "Constant Duty".

Una vez definida la simulación en modo dinámico, se ejecuta en Aspen Plus para verificar la consistencia de la misma (ausencia de errores) y los resultados se exportan al software Aspen Dynamics donde es posible instalar y configurar los controladores. En este trabajo se definió la presión como fuerza motriz para el modelo en "Dynamics".

Para simular la operación eficaz del proceso se incluyeron en total nueve controladores (figura 4). La configuración inicial y sintonización de los controladores se especificó de acuerdo a recomendaciones en la literatura [12]-[14]. Los controladores utilizados en la simulación incluyen:

- Un controlador de flujo "CSTR\_FC" a la entrada del sistema (corriente S1) que permite además programar y definir perturbaciones en el flujo de entrada. El controlador es PI (proporcional integral) con ganancia 0,5 y tiempo integral 0,3 min. Su acción es inversa, es decir, ante aumentos de flujo en la corriente F1, disminuirá el porcentaje de apertura de la válvula V1 y viceversa.

- Cuatro controladores en los reactores (dos en cada uno) que incluyen control de nivel ("CSTR\_LC" y "CSTR2\_LC" con acción de control sobre las válvulas "V2" y "V3" respectivamente, figura 4) y control de temperatura ("CSTR\_TC" y "CSTR2\_TC", figura 4) en cada reactor. Los controladores de nivel de los reactores CSTR usan ganancia de 10 y tiempo integral de 9999 minutos, de modo que operan como controladores proporcionales. La acción de estos controladores es directa, es decir, al aumentar el nivel del líquido, aumenta también el porcentaje de apertura de la válvula en la corriente de salida de cada reactor. Los controladores de temperatura por su parte son de acción inversa, es decir, si la temperatura de un reactor aumenta, el respectivo suministro de energía calórica ("Heat duty") disminuirá. Dado que la respuesta de un controlador de temperatura ante eventuales perturbaciones no es instantáneo [12], para simular adecuadamente el proceso se incluyen retrasos o "Lags" de primer orden (figura 4) en cada controlador de temperatura y se configura cada uno de ellos con un minuto de tiempo de retención [12]. La sintonización de los controladores de temperatura se define a partir de un análisis o prueba dinámica. En este estudio se usó el análisis "Relay feedback tests", fácilmente aplicable gracias a las herramientas disponibles en el software. Se seleccionaron las correlaciones de Tyreus-Luyben para definir valores de ganancia

(0,2613) y tiempo integral (12,672 min) para cada uno de los controladores de temperatura de los reactores.

- Cuatro controladores en la torre de destilación: un controlador de nivel en el tanque de reflujo (RADFRAC\_LC, figura 4), que mantiene el nivel en el tanque de reflujo manipulando la válvula V4 en la corriente del destilado (corrientes S9 y S10, figura 4); un controlador de nivel en el sumidero (RADFRAC\_LC2, figura 4), que mantiene el nivel en el sumidero de la torre manipulando la válvula V5 en la corriente de fondos (corrientes S11 y S12, figura 4); un controlador de presión en el condensador (RADFRAC\_PC, figura 4) y un controlador de temperatura al interior de la torre (RADFRAC\_TC, figura 4) que mantiene regulada la temperatura del plato 5 ajustando la entrada de calor al rehervidor. La elección del plato 5 para el control de temperatura en la torre se da de acuerdo al perfil de temperaturas simulado en Aspen Plus, pues en ese plato se espera el mayor cambio de temperatura con relación a los platos adyacentes.

Ambos controladores de nivel en la columna RADFRAC\_LC y RADFRAC\_LC2 son de acción directa (al aumentar el nivel en el tanque de reflujo o en el fondo de la columna aumentará el porcentaje de apertura de las válvulas de control correspondientes). Estos controladores se definen como proporcionales, asignando a cada uno ganancia de 2 y tiempo integral 9999 min. El controlador de presión RADFRAC\_PC se ubica en el condensador y

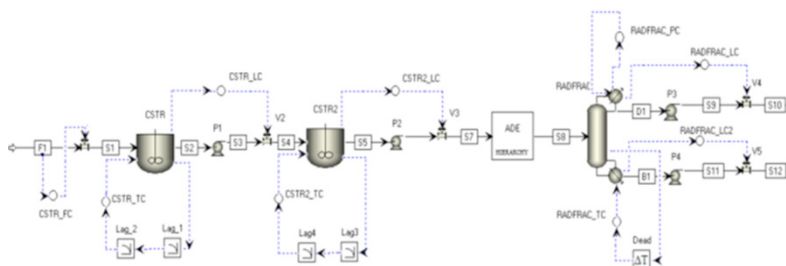
está sintonizado por defecto con una ganancia de 20 y un tiempo integral de 12 min.

El controlador de temperatura de la torre (RADFRAC\_TC) es de acción inversa, es decir, si la temperatura del plato 5 aumenta, el suministro de calor desde el rehervidor disminuye. En el controlador, los valores para la variable de proceso (PV) y el punto de control (SP) se ajustan de acuerdo a la temperatura simulada para el plato 5 (182,84°C). Para considerar el tiempo de respuesta entre eventuales perturbaciones y los cambios de señal desde y hacia el controlador, se incluye en la simulación un tiempo muerto (“Deadtime”) con un minuto de tiempo de retención entre la columna y su controlador de temperatura, figura 4, [14]. Con el “Relay feedback tests” correspondiente para sintonizar el controlador de temperatura se estima ganancia de 0,2452 y tiempo integral de 12,408 min.

La ausencia de errores de compilación que garanticen el adecuado funcionamiento y configuración del modelo de control se verifica corriendo la simulación en modo “Initialization”. Posteriormente es posible realizar corridas en modo “Dynamic”, que permiten observar la evolución del sistema o de variables específicas en el tiempo.

## Verificación del sistema de control

Para poner a prueba la eficacia de los controladores se generaron perturbaciones en el flujo de alimentación y se observó la respuesta del sistema. Las



**Figura 4.** Diagrama de flujo del proceso incluyendo elementos de control.

perturbaciones consistieron en el incremento del flujo de alimentación al proceso en un 30%. Para ello, se simuló el proceso (sin perturbación) durante siete horas (tiempo suficiente para estabilizar el proceso en el arranque), luego se modificó el flujo másico inicial y el punto de control (Setpoint) del controlador de flujo CSTR\_FC hasta 14733 g/h.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 5 muestra el comportamiento de las variables seleccionadas en la torre de destilación al simular la perturbación. Se muestra el cambio del flujo másico en los fondos, temperatura en el plato 5, calor suministrado por el rehedidor y la composición másica del epóxido de limoneno en la corriente de fondo.

En la figura 5 se observa como al incrementar el flujo de alimentación en un 30% (a las 7 horas de operación), la temperatura del plato 5 (línea fucsia) disminuye, lo que genera una respuesta en el calor suministrado al rehedidor (línea negra) que aumenta hasta que la temperatura del plato 5 se estabiliza en su punto de control. El sistema se estabiliza una hora después de simularse la perturbación. El flujo másico en los fondos (línea verde) de la torre aumenta, dado el incremento en el flujo de alimentación al sistema (línea azul), permitiendo obtener una mayor cantidad de producto de interés

al mismo porcentaje de pureza, pues como se observa, la composición de epóxido de limoneno en el fondo (línea roja, figura 5), mantiene el 97,5% de recuperación de epóxido de limoneno en el fondo. De acuerdo al comportamiento del sistema que se muestra en la figura 5, puede observarse que la estrategia utilizada para el control de la temperatura en la torre es efectiva, ya que se logra obtener su control en un tiempo relativamente corto. Vale la pena resaltar que la temperatura representa una de las variables más influyentes en el proceso de destilación, ya que afecta directamente los equilibrios de fases y por lo tanto su control es fundamental para garantizar la estabilidad del proceso.

En la figura 6 se muestra la respuesta del sistema en los reactores. Se observa como el controlador de temperatura del reactor funciona adecuadamente al presentarse una perturbación en el sistema (línea negra, figura 6), producto del cambio simulado en el flujo de entrada. Se percibe como el sistema en menos de dos horas recupera su estado natural y estabiliza la temperatura en el reactor. Esto se da gracias a la respuesta del controlador que manipula el calor suministrado (línea fucsia, figura 6) que disminuye hasta que la temperatura del mismo se estabiliza en su punto de control. Además, se observa como el controlador de nivel permite que el nivel (línea azul, figura 6) permanezca prácticamente constante.

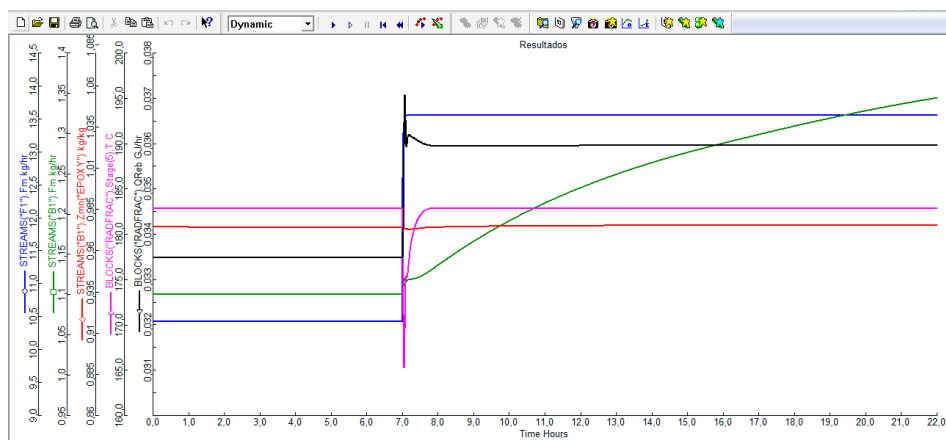
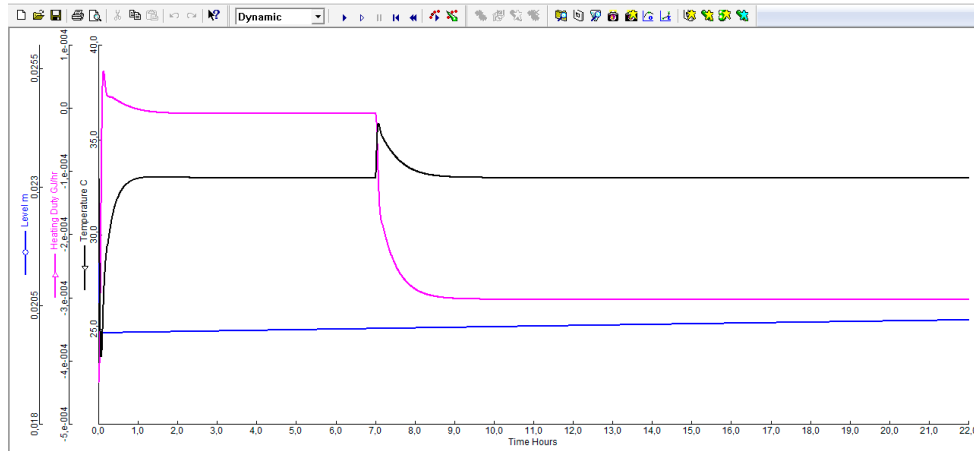
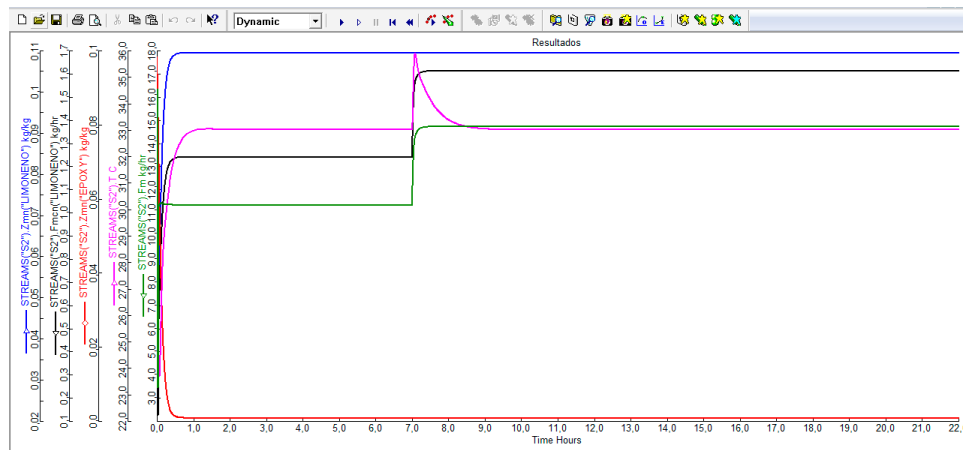


Figura 5. Resultado de la simulación en la torre para +30% de perturbación en el flujo de alimentación.





**Figura 6.** Resultado de la simulación en el reactor para +30% de perturbación en el flujo de alimentación.



**Figura 7.** Resultado de la simulación en la corriente de salida del producto de reacción para +30% de perturbación en el flujo de alimentación

En la figura 7 se muestra la respuesta del sistema en la corriente de salida del segundo reactor (corriente S2, figura 2). Se observa como al incrementar el flujo de alimentación en la corriente "F1", la temperatura de la corriente "S2" se incrementa y se recupera antes de las dos horas (línea fucsia, figura 7). Se puede observar también que las fracciones másicas del limoneno (línea azul) y epóxido (línea roja) permanecen constantes; es decir, la respuesta de los controladores asegura que ante un incremento en el flujo de alimentación (perturbación), la

conversión de limoneno y la selectividad al epóxido no se verán afectadas, permitiendo obtener el epóxido con el mismo porcentaje de pureza en la etapa de separación.

Luego de verificar el funcionamiento de los controladores, el diagrama de flujo se modifica (Figura 8) para simular la recirculación al proceso de la mezcla agua + limoneno + acetonitrilo que se recupera de la torre, permitiendo simular un modelo más realista a escala piloto.





## CONCLUSIONES

En esta investigación se simuló a escala piloto el proceso de obtención y recuperación de epóxido de limoneno. Para ellos se utilizó el software especializado Aspen Plus y Aspen Dynamics que permitió desarrollar o implementar modelos específicos para el sistema de reacción, el sistema de separación y el control simulado de los mismos. La estructura de control convencional simulada proporciona un control eficaz en la temperatura de la torre, el calor suministrado por el rehervidor y la composición másica del epóxido de limoneno en la corriente de fondo. Además, permite controlar perturbaciones del sistema en el flujo o en la composición de la alimentación.

Para conocimiento de los autores, este es el primer informe sobre el desarrollo del proceso a escala piloto en estado estacionario para la producción y separación de mezclas que contienen epóxido de limoneno. Así, los resultados de este trabajo se podrían utilizar para la realización de diseños de experimentos que permitan encontrar variables de operación en el proceso y que favorezcan la separación del epóxido de la mezcla multicomponente limoneno + agua + acetonitrilo + epóxido de limoneno, así como la optimización del proceso

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Antioquia por el apoyo a través del Proyecto PRV 12-1-01: "Análisis y comparación de estrategias de control en el proceso de obtención de epóxido de limoneno en un sistema no isotérmico utilizando herramientas computacionales como Aspen Dynamics y Simulink de Matlab".

## REFERENCIAS

- [1] C.G. Lopresto, *et al.*, "A non-conventional method to extract D-limonene from waste lemon peels and comparison with traditional Soxhlet extraction". *Sep. Purif. Technol.*, vol. 137, pp. 13-20, 2014.
- [2] R. Barrera, *et al.*, "Dynamic Modeling and Optimization of a Batch Reactor for Limonene Epoxidation". *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 49, no. 18, pp. 8369-8378, 2010.
- [3] R. Barrera, *et al.*, "Estudio de la desactivación del catalizador PW-Amberlita en la epoxidación de limoneno con peróxido de hidrógeno". *Rev. Ingeniería e Investigación*, vol. 29, no. 3, pp. 13-16, 2009.
- [4] A.B. Corripio y C.A. Smith, *Control automático de procesos*. Octava reimpresión, México: Editorial Limusa, S.A., 2001.
- [5] S. Palanki y J. Vemuri, "Optimal Operation of Semi-batch Processes with a Single Reaction". *Int. J. Chem. Eng.*, vol. 17, no. 3, 2005.
- [6] Aspen Plus TM. (2014, Jun.) "Aspen Engineering Suite, Cambridge MA," Aspen Technology Inc. [en línea]. Consultado el 1 de septiembre de 2015, disponible en <http://www.aspen-tech.com>
- [7] R. Barrera, C. Salazar y J.F. Pérez, "Thermochemical Equilibrium Model of Synthetic Natural Gas Production from Coal Gasification Using Aspen Plus". *International Journal of Chemical Engineering*, Vol. 2014, Article ID 192057, 2014.
- [8] Yi. Qun, Feng. Jie y Ying Li. Wen, "Optimization and Efficiency Analysis of Polygeneration System with Coke-Oven gas and Coal Gasified gas by Aspen Plus". *Fuel*, vol. 96, pp. 131-140, 2012.
- [9] Y. Agudelo y R. Barrera, "Use Of Advanced Simulation Software Aspen Plus as Teaching Tool in Chemical Reaction Engineering". *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 10, no. 19, pp. 57-68, 2015.
- [10] Y. Agudelo, "Recuperación de epóxido de limoneno en una columna de destilación por lotes: validación experimental de modelos propuestos". Trabajo de grado Ingeniería química, Universidad de Antioquia-UdeA, Medellín, Colombia, 2015.

- [11] R. Barrera, *et al.*, "Modeling and simulation of a batch distillation column for recovering limonene Epoxide". *Rev. EIA.*, vol. 18, pp. 131-141, 2012.
- [12] W. L. Luyben, *Chemical reactor design and control*. New York: John Wiley, 2007.
- [13] F. G. Shinskey, *Sistemas de control de procesos. Aplicación, diseño y sintonización*. México: McGraw Hill, 1996.
- [14] W.L. Luyben, *Distillation design and control using Aspen simulation*. Ed. Segunda. USA: Wiley, 2013.





## Implementación del modelo Lean Service en el proceso de recaudo de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Fincomercio Ltda

### Implementation Lean Service Model in the Accounts of the Credit Union Fincomercio Process Ltda

Jonny Alexander Gavilán Venegas<sup>1</sup> Adriana Patricia Gallego Torres<sup>2</sup>

**Para citar este artículo:** Gavilán, J. y Gallego, A. (2016). Implementación del modelo Lean Service en el proceso de recaudo de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Fincomercio Ltda. *Revista Redes de Ingeniería*. 7(2), 138-147. Doi: 10.14483/udistrital.jour.redes.2016.2.a03

**Recibido:** 23-mayo-2016 / **Aprobado:** 21-septiembre-2016

#### Resumen

El presente trabajo forma parte de la tesis de maestría para optar al título de Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. El cual se basó fundamentalmente en el diseño e implementación del modelo Lean Service para el proceso de recaudo de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Fincomercio Ltda. En este marco de referencia, la presente investigación de tipo Descriptivo-Explicativo; consistirá en la aplicación de la metodología Lean Service para el mejoramiento del proceso de recaudo de la Cooperativa.

**Palabras clave:** desperdicio, diagnóstico, diseño de solución, herramientas, lean service, proceso.

#### Abstract

This work is part of the master's thesis for the degree of Master in Industrial Engineering from the University Francisco José de Caldas. Which was based primarily on the design and implementation of model Lean Service for the process of collection of the credit union Fincomercio Ltda In this framework , this research descriptive . - Explanatory consist of the application of the methodology Lean Service to improve the collection process of the Cooperative.

**Keywords:** diagnosis, lean service, process, solution design, tools, waste.

1. Universidad Central, Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: caligy@hotmail.com
2. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C, Colombia. Correo electrónico: adpgallegot@udistrital.edu.co

## INTRODUCCIÓN

Fincomercio, en su afán por mejorar sus procesos de competitividad y la búsqueda continua de modernización y crecimiento para competir en el mercado, constantemente se encuentra desarrollando nuevos y mejores servicios a sus asociados, lo que ha generado un crecimiento en el portafolio de sus productos, en el número de asociados y un aumento considerable en las necesidades del proceso de recaudo. En este sentido, Fincomercio se debe concebir como una empresa de alto desempeño, caracterizada por la revisión permanente de los procesos para realizar una operación más ágil, eficiente y oportuna, preparando a la organización para el crecimiento que se tiene proyectado y estar acorde con los cambios tecnológicos que se están realizando.

Por lo tanto, la intervención propuesta, pretende mejorar significativamente la calidad en el recaudo de cada uno de los segmentos que tiene Fincomercio, además permite a la organización automatizar el trabajo, lo que daría la posibilidad de realizar tareas de forma paralela y ofrecer la oportunidad de llevar a cabo una reingeniería de los procesos de negocio. Esta propuesta apoya el pilar de control, de eficiencia, el de valor agregado al cliente, claridad y transparencia.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento que ha tenido la cooperativa en los últimos años, el número de operaciones se han incrementado considerablemente y con ellas el número de errores, tanto tecnológicos como humanos, lo que ha causado un gran malestar a los asociados, empresas con convenio y proveedores, generando pérdida de credibilidad y pérdidas económicas.

Debido principalmente a esto y en aras de lograr optimizar los procesos y aumentar la competitividad, nuestra intencionalidad nos llevó a

plantearnos la posibilidad de implementar el modelo Lean Service, el cual podría optimizar de los procesos y evolucionar hacia mayores niveles de madurez mediante la incorporación de ciclos de mejora continua e identificación del desperdicio a niveles atómicos [1].

Ante lo expuesto anteriormente, el problema de investigación se puede resumir de la siguiente forma:

¿De qué manera la implementación del modelo lean service, optimizará los procesos de recaudo de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Fincomercio?

## REFERENTES TEÓRICOS

Lean es una filosofía vinculada directamente del sistema de producción de Toyota (Toyota Production System, TPS), la cual fue desarrollada por Taiichi Ohno y Shigeo Shingo. Toyota inició sus actividades en el campo de la automotriz bajo la dirección de Kiichiro Toyoda, hijo del fundador de la compañía, Sakichi Toyoda [2].

En 1934 Toyota fabricó sus primeros motores, proceso en el cual los ingenieros de producción de Toyota se encontraron con los problemas típicos de la fabricación en serie y comprobaron finalmente que estos no alcanzaban la potencia requerida debido a defectos, al igual esto produjo enormes costes provocados por este problema, lo que enseñó a Toyota una de las lecciones que se han mantenido en la cultura de la compañía: la consecución y verificación de la calidad de los componentes en cada etapa del proceso productivo, antes de pasar a la siguiente. Cuando las mejoras en productividad y calidad de Toyota se hicieron evidentes, su modelo de producción recibió la atención de expertos de todo el mundo, este sistema fundamentado en la reducción de inventarios y defectos en las plantas Toyota, creo su énfasis en la mejora continua y el valor del compromiso de los empleados, apoyados en la utilización de herramientas como Just in Time, 5S, etc., lo que determinó la importancia de

un flujo balanceado entre la demanda y la producción, convirtiéndola en una herramienta para limpiar los procesos productivos. La metodología Lean supone un enfoque de mejora continua, reduciendo al máximo los desperdicios para alcanzar una mayor productividad y éxito empresarial. Es evidente cómo debido a sus exitosos resultados se hace más frecuente que las empresas adopten este tipo de herramientas para mantener un negocio sostenible con eficiencia y competitividad [1]. Lean genera una dinámica propia de mejora, por lo que la adaptación en las compañías son diferentes y sus caminos son irrepetibles, pero siempre en busca de implementar un sistema más productivo que opere con base en las necesidades de los clientes, al mínimo coste y con calidad de primera [3].

## SISTEMA LEAN

Lean es un modelo desarrollado para mejorar los procesos tanto en sistemas de manufactura como de servicios y se enfocan principalmente en la eliminación de mudas. Actualmente se encuentran identificadas ocho tipos de mudas o desperdicios que son comunes en todo tipo de procesos [4]:

1. Sobreproducción: ocurre cuando hay una gran acumulación de productos en espera de su posterior venta. Esta muda no genera ningún valor agregado al proceso dado que consume recursos como defectos, espacio en el campo de inventario, pausa el flujo de la producción del producto lo cual solo agrega tiempo y coste.
2. Las esperas o colas: es una de las mudas más comunes, ya que en las organizaciones hay una gran costumbre a la espera de una autorización para el inicio de un proceso o a que el proveedor llegue con la materia prima. En general son aquellos tiempos que no le genera valor agregado al proceso.
3. El transporte y movimientos innecesarios: tiene lugar a los desplazamientos que se pueden evitar o que no son necesarios para la producción o la entrega del servicio. Esta muda se debe

eliminar ya que adiciona tiempo muerto al proceso y no agrega valor y puede incurrir en errores durante el proceso de transporte.

4. Sobre procesar o procesar incorrectamente: son aquellos procedimientos innecesarios como pasos inapropiados por parte del operador, máquinas y operaciones forzadas, mejoras no útiles al cliente.
5. Exceso de inventario: el exceso de inventario es la relación en comprar o crear más productos de lo necesario, este material o producto final está estancada en la planta. Tener en cuenta que este material representa una inversión sin retorno.
6. Movimientos innecesarios: este desperdicio se relaciona al mal diseño del sitio de trabajo. Se presenta en los pasos adicionales que tiene que dar el empleado para realizar sus actividades. Esto ocurre en áreas inadecuadas e ineficientes. Un claro ejemplo es en el proceso de transporte, los movimientos toman tiempo y no agregan valor al producto o servicio. El diseño de distribución de planta inadecuado genera distancias recorridas excesivas. Por ejemplo, trasladar material de uso frecuente de un lugar lejano al área del proceso.
7. Defectos: esta muda es producto de las correcciones que se presentan en la identificación de no conformidades, rechazos por parte del cliente. Estos defectos representan costos ocultos, porque generan devoluciones, pérdida de ventas.
8. Creatividad de los empleados no utilizada: se pierde tiempo, ideas, aptitudes, mejoras y se desperdician oportunidades de aprendizaje por no motivar o escuchar a los empleados [5].

## HERRAMIENTAS DEL MODELO LEAN

Con el fin de cumplir con el objetivo de obtener una mejora en el sistema de recaudo y con la aplicación de los cinco principios de manufactura esbelta, se han creado diferentes herramientas que permiten de manera fácil y práctica la transformación lean [6]. Algunas de estas son:

## Value Stream Map (VSM)

Este instrumento del modelo Lean es una herramienta visual que permite identificar las actividades en la planeación y la realización de una operación, con el objetivo de encontrar oportunidades de mejoramiento las cuales tengan un impacto sobre toda la cadena y no en procesos aislados. El "Value Stream Map", es un mapa que muestra todas las acciones (de valor añadido y sin valor añadido) necesarias en términos de flujo del material físico y flujo de información para entregar un producto al cliente. Esta herramienta de lápiz y papel, es una herramienta estratégica y operativa que permite englobar la situación actual de la empresa y, a la vez, mostrar los puntos clave de mejora con el fin de llegar a un estado futuro ideal de flujo, producción tirada ("pull") y perfección en las cadenas de valor [7] [8].

## Administración Visual y las 5S's

Es un conjunto de técnicas que:

- Identifica los desperdicios o mudas para que estas sean eliminadas y prevenir su recurrencia;
- Hace que los estándares de operación de la empresa sean conocidos por los funcionarios para que estos puedan seguirlos sencillamente; y
- Optimiza los espacios de trabajo a través de la organización.

## Las 5 S's

Es una práctica de calidad la cual al emplearla facilita la localización de cualquier cosa y al igual tener la idea del estado de la operación en menos de 30 segundos, por una persona experta en el área de trabajo.

Palabras japonesas que inician con s: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke.

1. Clasificar (Seiri). Catalogue los elementos de su área, Su objetivo es mantener lo que se necesita y quitar todo lo demás.
2. Poner en orden (Seiton). Durante esta fase, se evalúa y mejora el flujo del trabajo actual, los procedimientos que los empleados realizan para llevar a cabo sus actividades.
3. Limpiar (Seiso). Esta fase elimina todas las formas de contaminación, incluyendo suciedad, polvo, fluidos, y otros escombros.
4. Higiene y Visualización (Seiketsu). Esta S incluye la higiene y la visualización, ya que en su lecho la higiene realiza el mantenimiento del orden y la limpieza. Esta herramienta es de gran uso ya que se ha demostrado su utilidad en el proceso de mejora continua.

Esta herramienta tiene como objetivo el desarrollo de las condiciones de trabajo para que se evite retroceder en las primeras 3's.

5. Compromiso y disciplina (Shitsuke). A través del entrenamiento y la formación para cada uno de los empleados y la práctica de cada una de estas S's es la única forma de acabar con los malos hábitos y poner en marcha los buenos:

Los ajustes que se hagan durante la implementación de las cuatro s anteriores se mantienen cuando se pone en práctica lo siguiente:

- Los empleados deben ser capacitados de manera correctamente.
- Los empleados deben usar las técnicas de administración visual.
- La alta gerencia debe estar comprometida con la implementación del programa.
- El lugar de trabajo debe estar bien ordenado y de acuerdo con los procedimientos que los empleados han acordado.
- Estos procedimientos deben ser convertidos en hábitos para todos los empleados.

Las cinco s se definen como selección u organización, orden, limpieza, estandarización y disciplina. Los elementos más importantes son la organización y el orden dado que depende el éxito de las actividades de mejora.

### **Mejora continua (Kaizen)**

La palabra Kaizen proviene de dos ideogramas japoneses: “Kai” que significa cambio y “Zen” que quiere decir para mejorar. Por lo cual, podemos decir que “Kaizen” es un “cambio para mejorar” o “mejoramiento continuo”. Los pilares que sustentan Kaizen son los equipos de trabajo y la Ingeniería Industrial, que se utilizan para el mejoramiento de los productivos [9].

Kaizen se orienta a la estandarización de los procesos. Su puesta en marcha requiere de un equipo integrado por personal de producción, ingeniería y demás empleados que el equipo considere necesario.

El objetivo de esta herramienta es incrementar la productividad controlando los procesos mediante la reducción de tiempos, estandarización de criterios de calidad y de métodos de trabajo por operación. Adicional, la mejora continua también se enfoca en la identificación y eliminación de desperdicio (mudas), en cualquiera de sus formas.

Kaizen es el medio para mejorar los estándares de los sistemas productivos. La capacidad de definir, medir, analizar, mejorar y controlar constituye la razón de ser del kaizen. “Cuanto más simple y sencillo mucho mejor”[10].

### **A prueba de error (Poka Yokes)**

Es una herramienta de calidad implementada por el Ingeniero japonés Shigeo Shingo en la década de los noventa, cuyo significado es a prueba de

errores. El objetivo de este instrumento Lean es diseñar un proceso donde los errores sean imposible de crearse.

El sinónimo de Poka Yoke es eliminar cada uno de los defectos de un producto o servicio, corrigiendo o previniendo los errores que se detectan lo antes posible. Es decir, la creación de un mecanismo por el cual ayuda a prevenir cada uno de los errores antes que se presenten [11].

### **KANBAN**

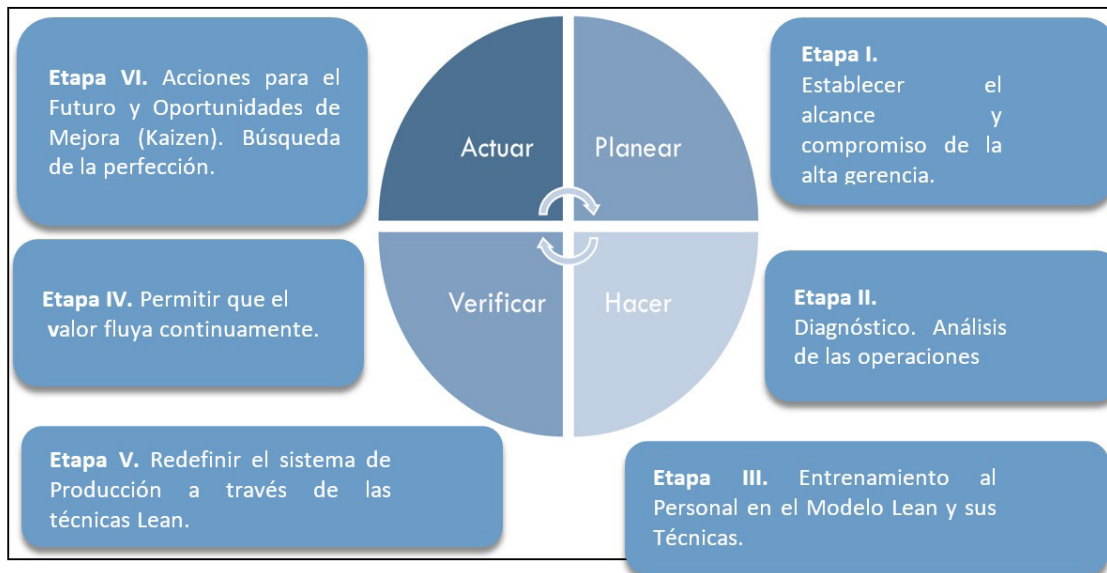
Es una herramienta basada en un conjunto de formas con el fin de comunicarse e intercambiar información. La etiqueta Kanban contiene información cuyo objetivo es dar una orden de trabajo. Es decir, un dispositivo que incluye y genere información acerca de que se debe producir, cantidad, por cual medios y cómo se debe transportar [12].

### **MÉTODOS**

En este proyecto se aplicará una metodología de implementación del modelo Lean, dicha metodología se basa en modelos ya existentes en la literatura, la cual se desarrollará y adaptará para su debida aplicación operativa, a los escenarios particulares del proceso de aplicación de pagos del área de recaudo. En el trayecto del trabajo se propondrán planes de implementación de varias herramientas Lean que buscan el mejoramiento del proceso caso de estudio [13].

En el modelo se muestran los pasos a seguir para establecer cada componente del mismo, con sus formatos y procedimientos requeridos, con base a la conceptualización de Lean y a los requerimientos que posee el sector [14].

Esta metodología consta de seis etapas básicas, tal como se expone a continuación:



**Figura 1.** Ciclo PHVA.

**Fuente:** [15].

Mediante un análisis de los problemas del área de recaudo, a través de las herramientas Lean, se ha logrado definir aquellas técnicas que ofrece la mejor solución a tales problemas, por tanto esta relación establecida ofrece como resultado la relación por componentes del sistema Lean Service que será utilizada para la conceptualización del modelo de gestión [16].

### Análisis de datos

Los resultados que aquí se presentan corresponden los hallazgos más importantes de este proyecto de investigación. En esta etapa se incorporan algunos procesos sistemáticos y que se encuentran relacionados, los cuales se adecuan para realizar una interpretación mucho más fácil, partiendo como eje principal las bases teóricas y que guiaron la trayectoria de la investigación.

Estas observaciones fueron realizadas después de haber sido aplicados las herramientas que brinda el modelo Lean, las cuales arrojaron los insumos necesarios que permitieron desarrollar este capítulo. Teniendo en cuenta que la implementación obedece a la gestión que se realizó a nivel de procesos,

algunos de los cambios que se dieron estuvieron dentro del alcance del proceso, es decir, aquellos procesos que dependen de otros procesos como, por ejemplo, asignación de pagos, aplicación de planchas, pagos de prestaciones sociales, aplicación de pagos bancos.

De tal forma que, para lograr la efectividad en cada una de las mejoras, se hizo un énfasis en cada una de las actividades, así como en la adecuada implementación de las herramientas propuestas. Esto produjo un cambio en los mecanismos de comunicación donde se hizo retroalimentación en cada una de las observaciones realizadas por el personal y en la asignación de roles de manera adecuada. De igual manera se concientizó al personal sobre la gran importancia de la comunicación, con el fin de mantener informados sobre las conductas a seguir durante el transcurso del proyecto, como en fechas proyectadas para la ejecución, posibles situaciones que puedan presentarse en la implementación.

A partir de la implementación se procedió a tomar nuevamente los tiempos de los procesos de recaudo durante el periodo de diciembre 2015 a febrero



2016, periodos que tienen muchos más pagos en el año, encontrándose que hubo una disminución en los tiempos de respuesta a los asociados en un 30% sobre los procesos de aplicación de pagos por bancos, planchas y prestaciones sociales.

La Tabla 1 permite identificar que en general, el proceso de recaudo tuvo una disminución en la aplicación de pagos, dado que el asociado tuvo que esperar 23.93 horas en promedio desde que se recibió el pago.

De acuerdo con la Tabla 2, se encontró una disminución en los tiempos de aplicación, esto dado a dos posibles causas, implementación de la nueva política de aplicación de pagos masivos y al desarrollo de un sistema o procedimiento que detecta y previene de anomalías en el proceso de recaudo.

Lo anterior de acuerdo con las instrucciones dadas por parte del líder en el momento de aplicación de pagos masivos, en el proceso se estableció que uno de los usuarios realizaba el cargue masivo de los pagos mientras que el otro usuario realizaba el monitoreo de pagos para la detección de alguna anomalía; esto, dado que es una manera de hacer

tanto un control dual y adelantar una de las tareas que se deben realizar.

Por otra parte, se evidencia una gran variabilidad en los tiempos tomados, lo cual fue ocasionado por la curva de aprendizaje, dado que el procedimiento anterior de pagos estaba basado en la manualidad (aplicación de pagos producto por producto) y al generarse el cambio el usuario debía realizar solo un cargue masivo de todos los pagos realizados por los usuarios mediante una estructura. Lo anterior ocasionó un gran cambio en el proceso y requirió que los usuarios se adecuaran y capacitaran, lo que originó demoras en el trayecto del proceso.

Por otro lado, se identificó que hubo una disminución en las PQR (Peticiónes, Quejas, Reclamos y Sugerencias) de los asociados en cuanto a la aplicación de pagos, esto de acuerdo al realizar la comparación de las quejas y reclamos por mes del año 2015 y 2016.

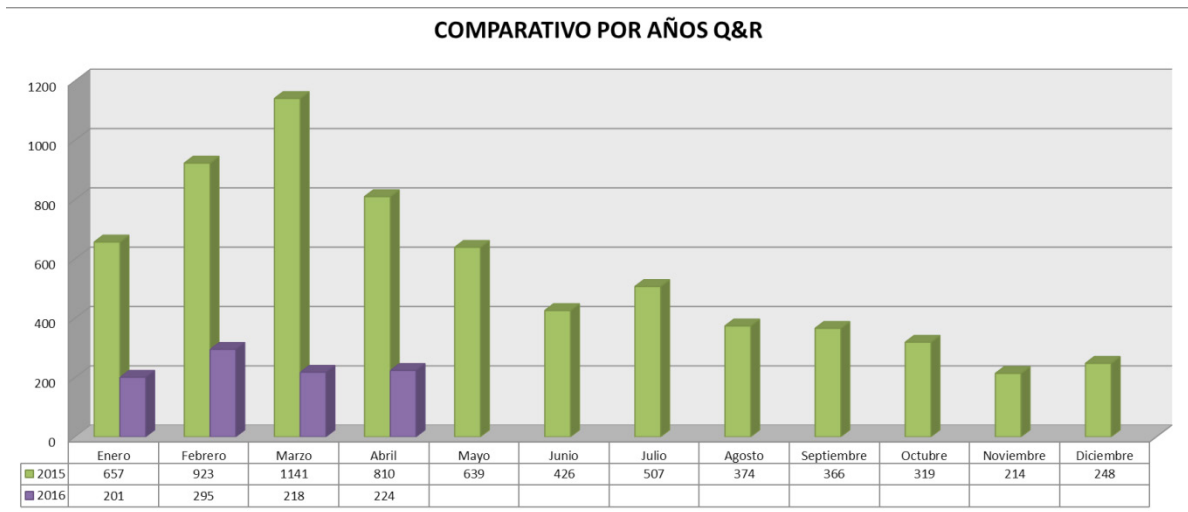
De acuerdo con la figura 2, se puede observar que en los últimos meses hubo una disminución considerable en las quejas y reclamos de los asociados lo cual afirma el éxito de la estandarización del nuevo proceso de aplicación.

**Tabla 1.** Estadística de tiempos (en horas) del proceso de implementación.

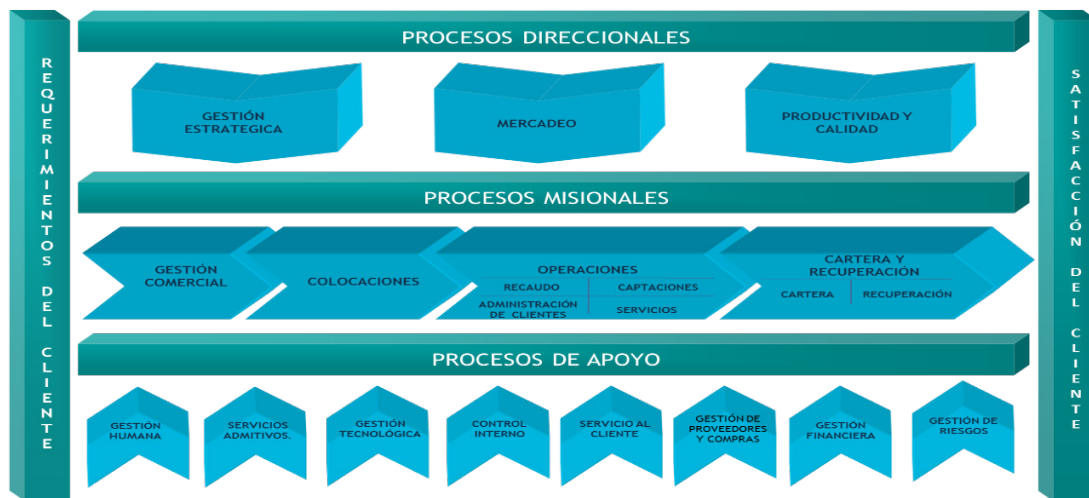
	Tamaño de la Muestra (N)	Mínimo	Maximo	Mediana	Promedio	Desviación Estandar	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75
<b>Aplicación de Pagos</b>	5250	0.00	2	0.36	1.23	0.33	0.15	0.36	1.6
<b>Tiempo de Respuesta</b>	5600	16.00	28	23.54	21.13	15.28	18.24	21.54	22.33

**Tabla 2.** Cuadro comparativo tiempos acumulados del proceso de recaudo antes versus después.

	Antes	Después
<b>Mínimo</b>	22.38	16.00
<b>Máximo</b>	36.38	30
<b>Mediana</b>	30.28	23.9
<b>Promedio</b>	28.74	22.36
<b>Desviación Estándar</b>	21.99	15.61
<b>Percentil 25</b>	24.77	18.39
<b>Percentil 50</b>	28.28	21.9
<b>Percentil 75</b>	30.31	23.93



**Figura 2.** Comparativo quejas y reclamos 2015 versus 2016.



**Figura 3.** Proceso de Recaudo Fincomercio.

Fuente: Elaboración propia.

## RESULTADOS

En la figura 3 se muestra el modelo desarrollado para responder al objetivo general que se planteó que se trató de: implementar el modelo Lean Service para el mejoramiento del proceso de recaudo de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Fincomercio Ltda., el cual permita ofrecer tiempos de respuesta más rápidos y encaminados a la reducción de costos.

En este sentido, el modelo desarrollado e implementado es el siguiente:

## CONCLUSIONES

Este proyecto se propuso plantear e implementar un modelo Lean Service para el proceso de recaudo de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Fincomercio Ltda. En este marco de referencia, la presente investigación de tipo Descriptivo-Explicativo consistió en la aplicación de la metodología Lean Service para el mejoramiento del proceso de recaudo de la Cooperativa.

Durante un análisis realizado al área de recaudo se detectó que esta es sumamente ineficiente y a

la vez presenta un alto nivel de desperdicio, razón por la cual se decide implementar la metodología Lean Service para el mejoramiento del proceso.

A través de la aplicación de las herramientas Lean se obtuvo una reducción de tiempos en los procesos, con respecto al proceso anterior que se estuvo implementando. Esto contribuyó de manera directa a la satisfacción tanto del cliente interno como externo, es decir tanto para nuestros asociados como en nuestros procesos propios.

La aplicación de estas herramientas produjo un mejoramiento en las condiciones de la organización, el orden y la limpieza en el lugar de trabajo, el clima laboral, la seguridad, la eficiencia y como consecuencia, la calidad, la productividad y la competitividad de la organización. Lo cual asegura la orientación de la Cooperativa en:

- Respuesta adecuada a la necesidad de mejorar cada uno de los procesos, eliminación de despilfarros.
- Reducción de pérdidas por la poca calidad que se estaban presentando en el resultado de los procesos, disminución en los tiempos de respuesta, intervención del personal e incremento de la moral por el trabajo.
- Facilitó las condiciones para aumentar la vida útil de los equipos de trabajo, gracias a la inspección constante del usuario quien opera la máquina.
- Mejoró la estandarización y la disciplina en el cumplimiento de los estándares dando posibilidad de participación al personal en la elaboración de procedimientos.

## REFERENCIAS

- [1.] C. Bodensiek, "Módulos de servicio para el Centro de Desarrollo Tecnológico del sector de autopartes para carga y pasajeros en Colombia.". *Revista Científica*, nº 19, pp. 148-156., 2014.
- [2.] A. Adúriz y P. Gallego, "La investigación científica y sus usos pedagógicos". *Revista Científica*, vol. 2, nº 25, pp. 5-7, 2016.
- [3.] R. Casas y M. Urrego, "Selección de modelo de gestión tecnológica para pymes colombianas.". *Revista Científica*, nº 17, pp. 125-130, 2013.
- [4.] I. Corredor, "Sin Identificación de los 7 Desperdicios no hay Lean". México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.
- [5.] R. Cabrera, *Manual de Lean Manufacturing*. España: Academia Española, 2012.
- [6.] S. García, "Las claves del éxito de Toyota. LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas.". *Cuadernos de Gestión*, vol. 2, nº 9, pp. 111-122, 2009.
- [7.] K. Liker, *Las claves del éxito de Toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo*, España: McGraw-Hill, 2006.
- [8.] M. Espejo y J. Moyano, "Lean Production: Estado actual y desafíos futuros de la investigación.". *Investigaciones europeas de dirección de la empresa (IEDEE)*, vol. 2, nº 13, pp. 179-202., 2007.
- [9.] J. Garay, "Aplicación de herramientas de pensamiento sistémico para el aprendizaje de Lean Manufacturing". *Sistemas & Telemática*, vol. 14, nº 7, pp. 109-144, 2009.
- [10.] J. Womack and D. T. Jones, *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Simon and Schuster., New York: Free Press, 2010.
- [11.] N. Gjeldum, I. Veža y B. Bilić, "Simulation Of Production Process Reorganized With Value Stream Mapping". *Tehnicki vjesnik/Technical Gazette*, vol. 3, nº 18, pp. 341-347, 2011.
- [12.] L. Cuatrecasas y J. Olivella, "Herramientas e indicadores de control para la mejora de un proceso de acuerdo con los principios de la producción Lean". de *IX Congreso de Ingeniería de Organización*, 2005.
- [13.] M. Lefcovich, *Kaizen: la mejora continua aplicada en la calidad, productividad y reducción de costos*. España: El Cid Editor, 2009.

- [14.] S. M., *El Kaizen: la filosofía de mejora continua e innovación incremental detrás de la administración por calidad total*. México: Panorama Editorial., 2007.
- [15.] D. Palomino, "Perspectiva de la gestión de la innovación desde los mecanismos a prueba de falla Poka Yoke.". *Escenarios*, vol. 1, n° 9, pp. 52-59, 2011.
- [16.] M. Spearman y D. H. W. Woodruff, "CONWIP: a pull alternative to kanban.". *The International Journal of Production Research*, vol. 5, n° 28, pp. 879-894., 1990.
- [17.] I. Cruz y J. Burbano, "Rediseño de un sistema productivo utilizando herramientas de lean manufacturing. Caso de estudio sector de mezclas de ingredientes para panadería industrias xyz (Tesis Maestría)". Universidad Icesi., Santiago de Cali., 2012.
- [18.] J. Womack, " Value Stream Mapping.". *Manufacturing Engineering*, vol. 136, n° 5, pp. 145-15, 2006.
- [19.] J. Cardona, "Modelo para la Implementación de Técnicas Lean Manufacturing en Empresas Editoriales". Universidad Nacional de Colombia, Medellín., 2013.
- [20.] F. Abdulmalek y J. Rajgopal, " Analyzing the benefits of lean manufacturing and Value Stream Mapping via simulation". *International Journal of Production Economics.*, vol. 107, n° 1, pp. 223-236., 2007.
- [21.] I. Muñoz y J. Torrubiano, "Construcción del pensamiento Lean: Técnicas y Herramientas. En: No. 207". *Revista Forum Calidad.*, n° 207, pp. 46-51, 2009.
- [22.] J. Womack, " El camino hacia el Lean en Ford". 2006. [En línea]. Recuperado de: [http://www.instituteLean.org/articulos/lei\\_0609\\_womack.html](http://www.instituteLean.org/articulos/lei_0609_womack.html).
- [23.] R. Pérez, "Desarrollo de un simulador conductual para la formación en gestión empresarial basada en LEAN". Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona - Enginyeria de Telecomunicació, Barcelona, 2011.
- [24.] G. Askin y J. B., *Design and analysis of Lean Production Systems*. USA: John Wiley & Sons, 2001.
- [25.] T. Gutiérrez y P. Vásquez, "Propuesta para el mejoramiento del sistema de programación de la producción en una empresa de manufactura mediante manufactura esbelta". Cali: Pontificia Universidad Javeriana, 2006.





## Propuesta para la inclusión de las TIC en la comunidad de la rivera del río Magdalena en Girardot, Colombia

### Proposal for inclusion of ICT in the community of the riverside of river Magdalena in Girardot, Colombia

Elkin Oswaldo Forero Soto<sup>1</sup>

**Para citar este artículo:** Forero, E. (2016). Propuesta para la inclusión de las TIC en la comunidad de la rivera del río Magdalena en Girardot. *Redes de Ingeniería*. 7(2), 148-155. Doi: 10.14483/udistrital.jour.redes.2016.2.a04

**Recibido: 9-marzo-2016 / Aprobado: 5-agosto-2016**

#### Resumen

Los medios utilizados para apropiación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la población a orillas del río Magdalena en Girardot no han sido los mejores a pesar de las políticas nacionales, por el contrario, la población se percibe cada vez más alejada de los adelantos tecnológicos y con menos oportunidades. Este documento propone el diseño de una estrategia tecnológica para que este tipo de comunidades se acerquen a las Tecnologías de Información y Comunicación a fin de disminuir la brecha digital.

**Palabras clave:** brecha digital, contenidos digitales, redes libres, servicios digitales, TIC.

#### Abstract

The means used to appropriation of information and communications technology in the town on the banks of the Magdalena River in Girardot were not the best despite national policies, on the other hand the population is perceived increasingly distant from advances technological and with fewer opportunities. This paper proposes the design of a technology strategy for this type of community approach to information and communication technologies to reduce the digital divide.

**Keywords:** digital content, digital divide, digital services, ICT, free networks.

1. Ingeniero de Sistemas, Universidad Piloto de Colombia Seccional Alto Magdalena; especialista en Construcciones Telemáticas, Universidad Autónoma de Colombia; magíster en Educación, Universidad del Tolima; docente Investigador Universidad Piloto de Colombia, Seccional Alto Magdalena. Correo electrónico: elkin-forero@upc.edu.co



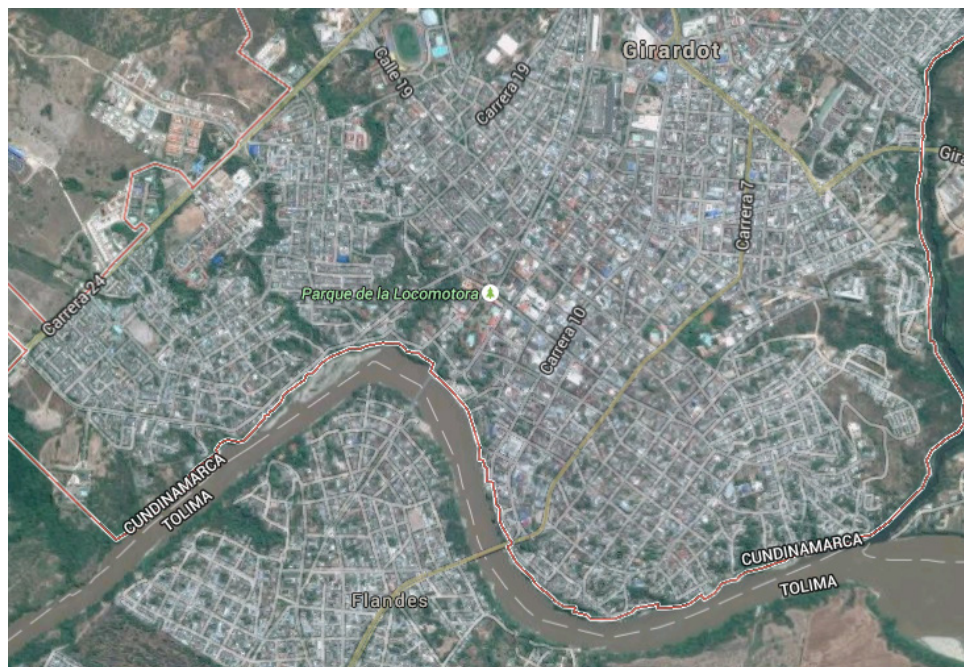
## INTRODUCCIÓN

La comuna 2 es la de mayor extensión en Girardot, bordea el paso del río Magdalena por la ciudad y es testigo de la unión del río Bogotá con el río Yuma; aunque vio nacer a Girardot y fue testigo de sus mejores épocas, hoy en día la sociedad le da la espalda y la gente que la habita se halla inmersa en dificultades sociales y económicas que redundan en inseguridad y falta de oportunidades.

Durante la ola invernal del 2011 muchos de los moradores de las riveras del Magdalena en este sector de Girardot se vieron gravemente afectados, lo que hizo que el gobierno nacional los reubicara en urbanizaciones de interés prioritario, como Villa del Sol, Corazón de Cundinamarca y otras. Lastimosamente en la actualidad dichas riveras han vuelto a ser pobladas por desplazados y población vulnerable que han llegado a la ciudad, ignorando los riesgos en caso de que el río Magdalena nuevamente aumente su caudal.

Para realizar este estudio con la comunidad ribereña el investigador seleccionó la sede principal de la Institución Educativa Nuevo Horizonte, por ser el único centro de educación básica y media que esta comunidad tiene a su alcance y también por ser un punto de encuentro para todos sus habitantes. Esta institución cuenta con diferentes sedes que le garantizan al estudio capilaridad en la Comuna, posibilitando el cumplimiento de los objetivos que persigue la presente investigación.

La población objetivo de estudio se enmarca en los habitantes de la rivera del río Magdalena sobre la comuna 2, debe entenderse por rivera la “Tierra cercana a los ríos, aunque no esté a su margen” [1] como lo define la Real Academia de la lengua. Con lo anterior el investigador considera la rivera como una zona de influencia del río Magdalena que puede ser hasta de tres kilómetros, definida por la geografía del terreno como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Rivera del Rio Magdalena en Girardot.

**Fuente:** Google Earth.

De acuerdo a las vistas efectuadas por el investigador esta una comunidad ribereña cuenta con muchos problemas sociales, pero también con gente pujante que busca continuamente la superación por medio del trabajo y la educación, esto lo asegura el investigador de acuerdo con las observaciones y trabajo de campo que realizó con la comunidad.

Situaciones como la anteriormente descrita configuran un ambiente ideal para diseñar e implementar algunas estrategias y herramientas tecnológicas que les permitan a sus habitantes incluir las TIC para la disminución de la brecha digital.

El investigador tuvo en cuenta diseñar una estrategia educativa acompañada por una herramienta tecnológica que en conjunto busca la inclusión de la tecnología en la comunidad ribereña. Para este último caso se diseñó e implementó una red libre comunitaria y la instalación sobre esta, de servicios y contenidos digitales como: enciclopedias libres, telefonía IP y algunos juegos, con el fin de beneficiar sobre todo a la comunidad educativa de la comuna, es decir, estudiantes, acudientes y docentes.

El principal objetivo que busca esta investigación es diseñar una propuesta para la inclusión de las TIC, a fin de que en un futuro cercano se disminuya la brecha digital de la comuna ribereña del río Magdalena. Lo anterior acompañada de una propuesta educativa que permita incluirlos en la sociedad del conocimiento.

Adicional a lo anterior, tal como lo señala Pérez [2], las TIC son promotoras de la inclusión social, por lo que deben estar al alcance de la comunidad con el fin de insertarlos en el mundo del conocimiento; así, debe estar al alcance de personas con problemáticas diferentes, como lo es la comunidad ribereña del río Magdalena.

También es bien sabido que en el mundo de la tecnología constantemente aparecen nuevas

oportunidades que se transforman en desventaja si no se acerca a la comunidad al uso de las TIC, por lo que es necesario que a la comunidad objeto de estudio de esta investigación aprovechen la tecnología para incluirse en esos cambios, de pasar lo contrario la comunidad ve dichas transformaciones como obstáculos para su crecimiento, como lo menciona Pérez [2].

Vale la pena resaltar que aunque la comunidad ribereña recibe bastante información por distintos medios, desafortunadamente poca se transforma en conocimiento, por lo que se hace necesario la activación cognitiva que lleve a procesar esta información para bien de la comunidad. El autor considera que el activador cognitivo más adecuado es el uso de una red comunitaria libre que le permita el acceso a diferentes contenidos de manera gratis, en donde el uso va de la mano con la apropiación “manteniendo una relación inextricable, por lo cual no se puede entender uno sin el otro”, según Álvarez [3].

La selección de una red libre comunitaria como medio tecnológico para hacer de activador cognitivo parte del trabajo empírico que tiene el investigador con otras comunidades y que ha arrojado buenos resultados. Ahora bien, con el propósito de desarrollar este trabajo el investigador se apoyó en miembros del semillero de investigación en REDa-te de la Universidad Piloto de Colombia Seccional Alto Magdalena, el cual se destaca por su trabajo comunitario en redes libre en la región. Los integrantes del semillero fueron participantes activos de esta investigación colaborando en recolectar información, en la implementación técnica de la Red Libre Comunitaria y trabajando de pares con los miembros de la comunidad.

El presente reporte de caso muestra los resultados iniciales que no son concluyentes determinando de manera cualitativa la práctica diaria del uso y apropiación de las TIC en la vida diaria de los habitantes ribereños del Magdalena en la comuna 2 de Girardot.

## MÉTODOS

En cuanto al tipo de investigación es importante evidenciar que no es la técnica de recolección de información la que define el carácter de la práctica investigativa que tiene esta investigación, como lo comenta Páramo [4]; lo anterior hace recordar los principales enfoques de investigación: cuantitativo y cualitativo, lo cual abre un espacio importante para la coexistencia de manera sana y hasta complementaria en un proceso investigativo como sucede en este trabajo, esta dualidad es nombrada por algunos autores como mixta o emergente y es asumida como base para desarrollar la presente investigación.

El investigador determinó que la población de la comunidad educativa de la Institución Educativa Nuevo Horizonte estaba constituida por: 823 alumnos, 796 acudientes en secundaria y 22 docentes. Con estas cifras el investigador calculó la muestra para la aplicación de dos instrumentos a fin de determinar el uso de las TIC; dicha información es tomada como línea de base para la investigación y más tarde pueda servir de punto de referencia.

El investigador conformó tres grupos focales para estudiantes, docentes y acudientes de seis a diez miembros cada uno. A estos grupos focales le fueron aplicadas técnicas de recolección de información mediante entrevistas semiestructuradas, las cuales giraban en torno a temas de tecnología, su uso y aplicación en la vida diaria, con lo que el investigador obtenía múltiples miradas del uso de las TIC en su cotidianidad evidenciando sus emociones, situación muy similar a lo expresado por Gibb [5].

Debido a la dificultad de la investigación, el autor considera pertinente el diseño de encuesta para ser aplicada a la comunidad educativa de la Rivera del río Magdalena. Una vez aplicadas tales encuestas fueron tabuladas y analizada de manera cuantitativa.

La información recaudada en cada uno de estos grupos focales y de la encuesta le sirvió al investigador para triangular las respuestas a estas entrevistas de cada uno de los actores. Con esta información al autor le quedó claro que la comunidad tiene el acceso a la información, tiene los equipos: computadores, celulares, tabletas para usarla, pero su principal inconveniente es pasar esa información a conocimiento, porque no es capaz de apropiarla para ser usada en su vida cotidiana.

Dentro de los principales análisis que se derivan de la tabulación de las encuestas, están:

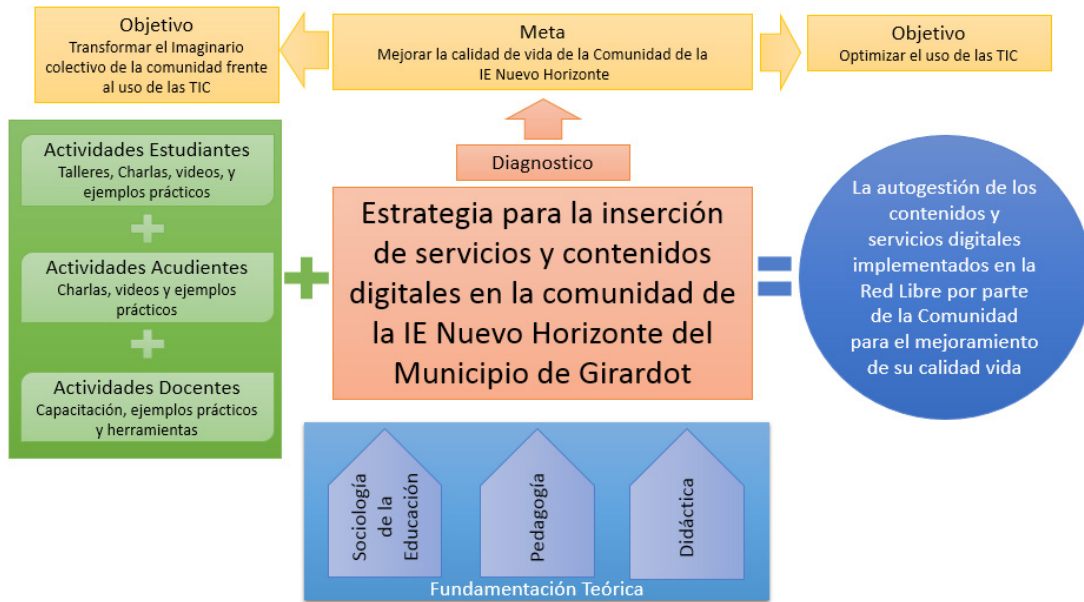
- Se destaca que el principal uso de la tecnología es el ocio y la diversión.
- Los docentes son quienes menos la usan las TIC.
- La mayoría de la población académica acceden al servicio de Internet desde la casa y muy pocos lo hacen desde la Institución Educativa
- La mayoría de la población usa el internet en chatear, redes sociales y jugar en línea y muy pocos la usan para realizar actividades del colegio.
- La gran mayoría reconocen las TIC es un factor que mejora su calidad de vida, pero lastimosamente desconocen cómo se puede lograr esto.

El autor propone una estrategia pedagógica para la apropiación de las TIC por parte de la comunidad, la cual se presenta en la Figura 2.

Ahora bien, el autor reconocer que “el aprendizaje significativo constituye un proceso a través del cual se asimila un conocimiento, relacionándolo con algún aspecto relevante ya existente en la estructura cognitiva”, como lo menciona Ausubel [6].

Lo anterior sustenta la estrategia educativa de la presente investigación en los saberes previos que tenga los miembros de la comunidad educativa de la rivera del río Magdalena. Buscando que estos





**Figura 2.** Estrategia para la inserción de servicios y contenidos digitales.

**Fuente:** elaboración propia.

conocimientos se interioricen en el estudiante, acudiente y docente mediante los servicios y contenidos digitales ofrecidos, manteniendo interesado a los miembros de la comunidad en descubrir nuevas formas, temas y conocimiento, mejorando su creatividad e imaginación con distintas áreas del conocimiento y soportados en las redes comunitarias libres.

La apropiación del conocimiento se logra en conjunto con el aprendizaje social, cuando el conocimiento individual se codifica y se logra socializar en la comunidad, desarrollando en ella capacidades y habilidades que le permiten a quienes apropiaron el conocimiento responder con éxito a los cambios permanentes del entorno, según lo comenta Chaparro [7].

Por ello el autor considera pertinente aplicar la estrategia educativa anteriormente descrita con actividades para los miembros de la comunidad; dichas actividades se realizan en momentos informales, esto con el fin que no se sientan bajo el

esquema de un ambiente académico. Los temas a tratar con la comunidad fueron diseñados entre el investigador y algunos miembros del semillero enREDate, los cuales cumplen con los objetivos de este estudio.

Como protocolo para realizar la intervención en la comunidad se diseñaron una serie de preguntas abiertas y que incluyeran su contexto, cada sesión tenía un máximo de una hora de trabajo y seis preguntas generadoras para cada grupo de alumnos, acudientes y docentes.

Las anteriores actividades se presentan de forma continua, pero no diaria con el fin de que la comunidad ribereña no lo vea como una actividad parte de la rutina escolar y lo puedan en algún momento asociar con su proceso académico en la Institución Educativa Nuevo Horizonte.

De igual manera se considera que estos tiempos son los más adecuados para que la comunidad que tengan la oportunidad de establecer mecanismos

que les permitan cuestionarse sobre temas similares, lo socialicen con otros miembros de la comunidad y apropien el conocimiento mediante el aprendizaje social.

Con los acudientes también se han establecido grupos focales, pero en vez de preguntas se socializan temas que sensibilicen a sus miembros, mostrando videos y realizando prácticas sobre algunos equipos de cómputo, tabletas o celulares, para estas actividades fue muy importante la participación de alumnos miembros de la misma comunidad ribereña.

Se seleccionaron temas cortos, de mucho interés para los acudientes, orientados inicialmente a familiarizarse con las TIC y luego afianzar estos conocimientos con ejemplos de su cotidianidad, orientados por sus propios acudidos quienes realizaban la socialización de los temas.

Este procedimiento permitirá de un lado mejorar los lazos de comunicación y fraternidad al interior del núcleo familiar y del otro consolidar las bases para que el aprendizaje social que ha obtenido los estudiantes y padres sea significativo.

Con los docentes, se han realizado charlas formales con temas específicos, sobre todo encaminados al acceso a la información, luego buscando la aplicación de estas en su entorno educativo. Los docentes involucrados en estos procesos son únicamente aquellos interesados en el tema para que no se vea como una obligación.

Todas estas estrategias son preparadas desde la perspectiva del aprendizaje por descubrimiento, donde estudiantes, acudientes y maestros reciben inicialmente los contenidos de manera pasiva, descubriendo por ellos mismos nuevos conceptos de tal manera que cada actor los asimile cognitivamente de acuerdo a su necesidad. Lo anterior permite que estos contenidos y servicios digitales sean dinamizados por la misma comunidad acorde a sus expectativas frente al tema. El anterior concepto

de aprendizaje por descubrimiento es propio de la psicología cognitiva, expuesta por el psicólogo y pedagogo Jerome Seymour Bruner [7].

Con la teoría del aprendizaje por descubrimiento el autor busca potencializar las destrezas que tienen cada miembro de la comunidad, explorando de manera básica la investigación, profundizando en temas que tengan relevancia en la aplicación de las TIC en su contexto.

Vale la pena recordar que el método inductivo es el que se usa en el aprendizaje por descubrimiento de acuerdo con lo expresado por Bruner, donde se destaca que los participantes no conocen de manera formal el contenido del curso. En este método el investigador hace la presentación de un problema o caso de uso que se pueda solucionar con las TIC y en conjunto cada grupo de estudio encuentra la manera de resolverlo.

De acuerdo a la observación inicial se puede evidenciar que la comunidad asimila más rápidamente el uso de las TIC con la ayuda de los alumnos de la comunidad ribereña, otros actores como los acudientes empiezan a expresar interés en el uso de la tecnología, siendo los docentes en su colectivo los más parcos en incluir las TIC en su cotidianidad.

## RESULTADOS

- Luego de ser aplicada la anterior estrategia a la comunidad académica de la rivera del río Magdalena en la comuna 2 de Girardot, el investigador ha observado que:
- El 38% de los asistentes a los grupos focales aumentó el uso de las TIC, el grupo que menos aumento su uso fue el de los docentes, a pesar que en sus entornos están dotados con buenas herramientas tecnológicas que propician su uso.
- Tan solo el 22% de la comunidad asistente a los grupos focales aumentaron sus destrezas para el manejo de los equipos de cómputo, celulares o tabletas. Esto se pudo ver con la inserción

de juegos en línea que implicaban competencias en el manejo de estos equipos y la comprensión misma del juego.

- Solo un 4% de la comunidad asistente a los grupos focales se apropió del conocimiento y lo utilizó para resolver problemas de la vida diaria.

De acuerdo a la aplicación de la estrategia antes mencionada, a la observación hecha en la comunidad del uso de los contenidos y servicios tecnológicos y al análisis de las encuestas aplicadas, el autor se atreve a sugerir que existen tres etapas, que los miembros de la comunidad viven frente al uso de la tecnología, las cuales son: comunicación, esparcimiento y resolución de problemas.

La etapa de la comunicación se inicia con una fase de curiosidad, allí empiezan a utilizar la tecnología para comunicarse con sus amigos y familiares, para saber que están haciendo los miembros de su colegio, compañeros de trabajo y demás. Esto lo hacen utilizando mensajería instantánea, redes sociales y demás servicios afines.

Luego pasan a la segunda etapa denominada esparcimiento donde persiste el uso de las redes sociales, pero le suman actividades como Jugar, oír y ver videos, casi siempre con temas del momento. Es importante entender que el uso de un video juego va de la mano con competencias en TIC más enfocadas en el uso de los equipos de cómputo, tabletas o celulares y la comprensión de la dinámica de los juegos.

Luego sigue la etapa más delicada porque debe presentársele a la comunidad opciones relacionadas con temas de esparcimiento que le permitan generar competencias como la argumentación, la interpretación y resolución de problemas entre otras.

Allí hay que buscar que la comunidad no se quede solo con jugar y oír música. En este momento hay que generar estrategias que los aparten del mal uso de la tecnología como son: juegos en línea, que por

su dinámica son muy absorbentes y pueden generar más violencia, que se vuelvan adictos a todo tipo de redes sociales, generando cambios en su comportamiento y terminen prefiriendo relaciones virtuales a las reales, también apartarlos del consumo de pornografía y el acceso a plataformas de apuestas en línea en otros peligros.

Más tarde algunos miembros de la comunidad pasan a la etapa de resolución de problemas, por curiosidad o necesidad, empiezan a buscar temas que le permiten usar y apropiarse del conocimiento, a través de videos, tutoriales o cursos en línea que le permitan capacitarse en temas muy puntuales y de corta duración, por ejemplo cómo arreglar una plancha, cómo sacar la cédula, como obtener el Sisben, como arreglar el celular, como preparar una comida, entre otros.

Aunque pocas personas llegan a esta etapa, es interesante ver cómo los miembros socializan su aprendizaje con otros miembros, permitiendo con esto la apropiación social del conocimiento.

## CONCLUSIONES

El investigador presenta una serie de conclusiones preliminares donde se puede apreciar que, gracias a las estrategias implementadas, la comunidad de la rivera del río Magdalena se apropia de la TIC y las reconocen como un factor importante para mejorar sus labores diarias, que las TIC están presentes como un factor predominante para conseguir empleo y resolver algunos problemas.

En la comunidad se destaca la labor de los estudiantes quienes con una serie de estrategias pedagógicas y técnicas diseñadas por el investigador, se vuelven multiplicadores y motivadores para los demás miembros de la comunidad para la apropiación de las TIC.

Como recomendaciones el autor propone que, a pesar de los esfuerzos del investigador y sus

colaboradores, los contenidos encontrados en la red no le fueron totalmente suficientes para promover avances más significativos en el uso y apropiación de las TIC en la comunidad. Lo anterior abre un espacio para que a futuro profesionales de distintas áreas del conocimiento creen contenidos y servicios adaptados al entorno y necesidades que tenga la comunidad. Co-crear este tipo de contenidos y servicios permite ampliar esta investigación con el fin de permear a la comunidad ribereña para que a futuro se disminuya la brecha digital y mejoren su calidad de vida.

El autor reconoce la necesidad inmediata de construir una herramienta de base tecnológica que les permita a los miembros de la comunidad desde sus dispositivos móviles, tabletas o computadores, mostrar sus habilidades para que la gente de Girardot y sus alrededores pueda contratarla. Esta iniciativa debe ir acompañada de capacitación en el uso y alcances de la misma, también se sugiere que debe ser monitoreada para que se pueda determinar qué tipo de ocupaciones no están siendo cubiertas por la comunidad y capacitarlos en estas. Generando dinámicas que le permite a la comunidad ser más competitivas, que las invite a sacarle provecho a las TIC y que la vean como una oportunidad.

Es indudable que investigaciones de este tipo deben involucrar al Estado, a la universidad y al sector productivo de la región, para que reconozcan en conjunto las realidades de una comunidad y las posibles formas de implementar estrategias de base tecnológica que le permitan a estas apropiarse del conocimiento y generar competencias que le permitan mejorar su calidad de vida.

Aunque la mayoría de iniciativas gubernamentales buscan acercar la tecnología a la sociedad regalando tabletas, computadores y conectividad a bajo costo, esta investigación le aporta al matrimonio Tecnología y Sociedad en Girardot, espacios de

disertación que promuevan la profundización en estos temas y a futuro aseguren, amplíen o desmientan las conclusiones de este trabajo, pero sobre todo que vean a la tecnología como un medio, una herramienta para el desarrollo social y no como un fin *per se*.

## REFERENCIAS

- [1] Real Academia de la lengua española, S.f. [en línea]. Disponible en <http://dle.rae.es/?id=WRvSDST>
- [2] Pérez Serrano, G., y Sarrate Capdevila, M. L., "La TIC promotoras de la inclusión social". *Revista Española de pedagogía*, 69, 237-253, 2011. [en línea]. Disponible en [https://www.jstor.org/stable/23766393?seq=8#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/23766393?seq=8#page_scan_tab_contents)
- [3] Alvarez Cadavid, G, Vega Velásquez, A. y Álvarez, G., "Apropiación de las TIC en comunidades vulnerables: el caso de Medellín Digital". *Apertura Revista de innovación educativa*. Vol. 3, 2001, [en línea]. Disponible en <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/194/209>
- [4] Páramo P., *La investigación en las ciencias sociales: estrategias de investigación*. Bogotá D.C.: Universidad Piloto de Colombia, 2011.
- [5] Gibb, A., "Focus group". *Social Research Update*, 5(2), 1-8, 1997. [en línea]. Consultado el 10 de septiembre de 2008, disponible en [sru.soc.surrey.ac.uk/SRU19.html](http://sru.soc.surrey.ac.uk/SRU19.html)
- [6] Ausubel, N., *Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. 2° Ed., 1983, México: Trillas.
- [7] Chaparro, F., *Apropiación social del conocimiento en el proceso de construcción de sociedad*, 1998. [en línea]. Disponible en <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1HP0C7ML6-1BS-FXDZ-814L/apropiacion%20social%20chaparro.pdf>
- [7] Bruner, J. *El proceso de la educación*. México: Editorial Uteha, 1972.





## Research inteligencia de negocios: estudio de caso sector tecnológico Colombiano

### Research Business Intelligence: Case Study Colombian Technology Sector

Angie Alexandra Gutiérrez Camelo<sup>1</sup> Miguel Angel Devia Llanos<sup>2</sup>  
Giovanny Mauricio Tarazona Bermúdez<sup>3</sup>

**Para citar este artículo:** Gutiérrez, A., Devia, M. y Tarazona, G. (2016). Research inteligencia de negocios: estudio de caso sector tecnológico Colombiano. *Revista Redes de Ingeniería*. 7(2), 156-169. Doi: 10.14483/udistrital.jour.redes.2016.2.a05

**Recibido:** 21-julio-2016 / **Aprobado:** 29-septiembre-2016

#### Resumen

Este artículo presenta los resultados de un estudio realizado a 90 empresas colombianas, en su mayoría del sector tecnológico, con el fin de establecer una visión panorámica del estado del arte de la inteligencia de negocios, desde su concepto hasta los modelos de implementación, con el objetivo de analizar cómo la cultura colombiana afecta su adaptación como herramienta fundamental en el desarrollo competitivo de las organizaciones y la toma de decisiones acertadas.

**Palabras clave:** big data, inteligencia de negocios (bi), modelos, toma de decisiones.

#### Abstract

This article presents the results of a study of 90 Colombian companies mostly in the technology sector to establish an overview of the state of the art business intelligence, from concept to deployment models, with the aim of analyzing how Colombian culture affects its adaptation as a fundamental tool in the competitive development of organizations and making decisions.

**Keywords:** big data, business intelligence (bi), decision making, models.

1. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: [angieguti12@gmail.com](mailto:angieguti12@gmail.com)
2. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: [migueldevia19@gmail.com](mailto:migueldevia19@gmail.com)
3. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: [gtarazona@gmail.com](mailto:gtarazona@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

En el pasado las empresas tomaban sus decisiones basadas únicamente en sus procesos. Actualmente en el entorno global existe una variedad de herramientas informáticas que facilitan la ejecución del negocio y definen los aspectos diferenciadores ante los competidores. A fin de tomar buenas decisiones, hay que saber qué datos recopilar y gestionar y en qué contexto se podrá utilizarlos [1], el problema se encuentra en analizar, solucionar e interpretar las grandes cantidades de datos que se tienen y convertirlos en información de calidad que apoyen la toma de decisiones. El uso de la inteligencia de negocios (BI) en las organizaciones ayuda a la toma de decisiones basadas en información óptima y se establece como el siguiente paso a seguir para poner las empresas en un nivel competitivo. [2]

## MÉTODOS

Este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 define la inteligencia de negocios, sus retos, características y elementos del mismo; la sección 3 son los actuales y más importantes modelos de inteligencia de negocios; la sección 4 es investigación del estado de arte del BI, específicamente en la cultura asiática, Estados Unidos y América Latina; seguida de la quinta sección la

cual es el estado del BI en Colombia con datos basados en una investigación realizada a 90 empresas colombianas; finalmente se realizan conclusiones del artículo y se mencionan algunos posibles trabajos futuros.

Ficha técnica de la encuesta realizada, Tabla 1.

## RESEARCH INTELIGENCIA DE NEGOCIOS (BI)

El término inteligencia de negocios tiene su origen en un reporte de Gartner Group de 1996 [3]. Desde una visión global se llama inteligencia de negocios al conjunto de estrategias, acciones y herramientas enfocadas a la administración y creación de conocimiento mediante el análisis de datos existentes en una organización o empresa [4]. Estructuralmente, la inteligencia de negocios consiste en la toma y transformación de grandes cantidades de datos, el análisis e interpretación de los mismos y la presentación de un conjunto de informes de alto nivel que condensan la esencia de esos datos en la base de las acciones empresariales, lo que permite que la gerencia ejecute diariamente decisiones de negocio fundamentales [5].

Dragoljub *et al.* [6] argumentan que la inteligencia de negocios representa la estructura tecnológica básica que permite a los gerentes la gestión total

**Tabla 1.** Ficha técnica de encuesta realizada.

<b>Población objetivo</b>	<b>Empresas del sector tecnológico del territorio colombiano.</b>
<b>Técnica</b>	Encuesta realizada vía web, enlazada al grupo de investigación GICOECOL de la Universidad Distrital Francisco José de caldas. Se puede visualizar la encuesta en: <a href="https://docs.google.com/forms/d/1RUQroyTwGllP0SpCa_AVN8udUSct6s9PLdYXnTEmiE8">https://docs.google.com/forms/d/1RUQroyTwGllP0SpCa_AVN8udUSct6s9PLdYXnTEmiE8</a>
<b>Tamaño de la muestra</b>	90 (Tamaño de la muestra para una población desconocida $n = \frac{z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{i^2}$ )
<b>Financiación</b>	Ninguna
<b>Margen de error</b>	Error 10,33% (Nivel de confianza del 95%)

de la información y garantizar una mejor posición en el mercado, es un proceso para la extracción [4], transformación, gestión y análisis de datos de gran tamaño para obtener la información y el conocimiento requeridos y de esta manera ayudar a tomar decisiones en la organización [7].

La misión fundamental de la inteligencia de negocios es el apoyo y el desarrollo de los procedimientos en la toma de decisiones empresariales [8] [6]. Debe ser claro que para lograr el cumplimiento de esta misión fundamental no se pueden dejar de lado aspectos clave tales como 1. Integración de la experiencia del usuario, 2. Integración de la información, 3. Integración de compañeros “Negocios a negocio”, y 4. Integración del proceso. Dichos objetivos proporcionan una guía para la correcta implementación del BI, el despliegue y la administración simplificada, así como para entregar un conocimiento estratégico, táctico y operacional [9]. Del mismo modo, según Dinter y Lorenz [8], los elementos básicos de la BI son los usuarios y clientes, productos y servicios, procesos, tecnología de la información y comunicación (TIC), gobernabilidad y los datos. Este último, elemento esencial para los siguientes procesos 1. La arquitectura de datos y desarrollo (incluyendo el análisis y modelado), 2. La gestión de la seguridad de datos, 3. La gestión de datos y metadatos y 4. Gestión de calidad de datos.

### Implementación de BI

El BI ayuda a las empresas u organizaciones a calcular el valor de las variables de gestión de riesgos de manera eficiente y acelera la comparación entre variables y umbrales [10].

Un modelo de implementación genérico se observa en la Figura 1.

Para implementar el BI, en una organización, no es necesario solamente un software [11], el BI incluye un cambio organizacional y una óptima gerencia de los recursos empresariales para obtener

los resultados deseados, soportados en la gobernabilidad de la información. En las organizaciones existen diferentes condiciones que se deben dar, las cuales se observan en la Figura 2 y en la Tabla 2.

Safeer y Zafar [12] mencionan que existen factores que al estar presentes en la ejecución del BI aseguran el éxito en sus resultados, estos factores se pueden ver en la figura 3, en donde se encuentran organizados en orden de importancia, el mismo autor resalta que las razones por la que el BI falla es debido a la gestión ineficiente del proyecto, la falta de planeación y la generación de información incorrecta, adicionalmente un factor principal para la falla del BI es la mala calidad de datos utilizados, esto se evidencia en las malas decisiones que se toman por sus análisis generando grandes pérdidas en las compañías.

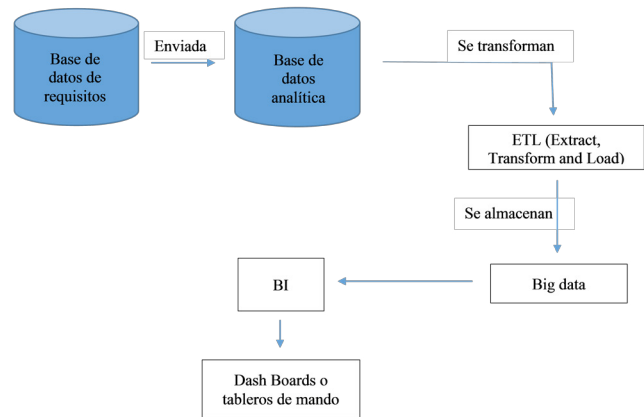


Figura 1. Modelo genérico de implementación de la BI.

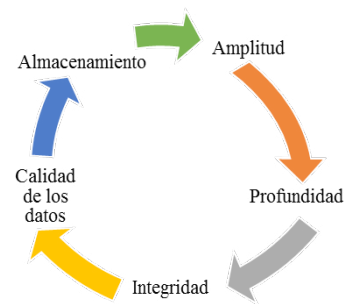


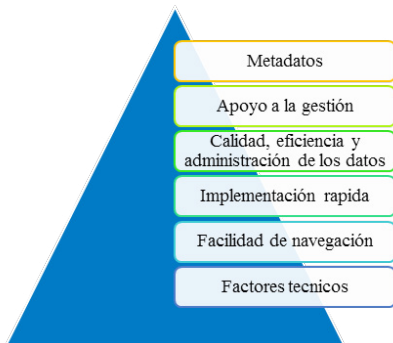
Figura 2. Ciclo de características para implementación de BI.

Fuente: [11].



**Tabla 2.** Condiciones para el BI.

<b>Amplitud</b>	La integración de las funciones y tecnologías de la organización
<b>Profundidad</b>	El BI debe llegar a todos los rincones de la organización, es decir que todos los empleados deben tener las herramientas apropiadas para la implementación
<b>Integridad</b>	Una base de datos sólida y precisa, que no sea solo para consulta e informes sino que sea una herramienta de uso diario.
<b>Calidad de los datos</b>	Asegura que las decisiones tomadas a partir del análisis del BI sean correctas y apropiadas para la organización. La calidad de los mismos es directamente proporcional a la rentabilidad generada por el BI.
<b>Almacenamiento</b>	La plataforma, esta debe ser capaz de disponer grandes cantidades de información, analizarla y entregar rápidamente sus resultados.



**Figura 3.** Factores para que el BI tenga éxito.

Fuente: [12].

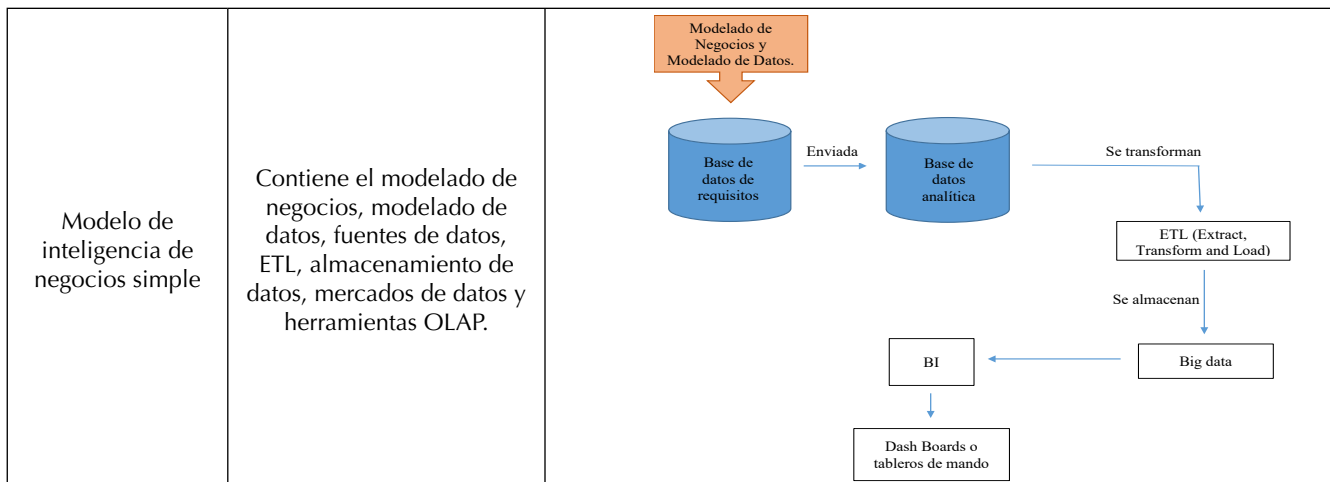
### Modelos de inteligencia de negocios

El dominio en la aplicación de los modelos de BI se divide en dos, modelos horizontales o verticales. Los modelos horizontales de BI son modelos generales;

son comunes para cualquier tipo de industria y pueden ser aplicados a cualquier dominio de negocio. Los modelos de negocio específico son llamados modelos verticales, estos son desarrollados para una industria específica [13]. En las tablas 3 y 4 se muestra un resumen de algunos modelos ya desarrollados y que son usados constantemente como guía teórica para un gran número de empresas, se debe tener en cuenta que en el desarrollo de estos modelos el big data es usado como data warehouse debido a que el DW se implementa utilizando tecnologías de Big data que dan a la empresa la capacidad de procesar grandes cantidades de información más rápido que un DW tradicional, junto con la capacidad para albergar a los datos no estructurados [14]

- Modelos Horizontales. Tabla 3.

**Tabla 3.** Modelos horizontales.





<p>Modelos cognitivos de la inteligencia de negocios</p>	<p>La funcionalidad de análisis mejorado de los sistemas tradicionales de BI a través de la orientación cognitiva. Es el subsistema de almacenamiento de datos, un caso base y el modelo mental base.</p>	
<p>Modelo de BI para apoyar la recuperación de información en un entorno basado en ontologías</p>	<p>Un módulo de ETL personalizada con el fin de integrar los datos indexados semánticamente con las operaciones, capaz de recuperar los datos pertinentes.</p>	
<p>Modelo de BI para la recogida sistemática de información</p>	<p>Diseño de la estructura de un método de recogida de información basado en la teoría extenics la cual consiste en evitar la sobrecarga de información o una sobrecarga de conocimiento.</p>	

<p>Modelo de recogida de datos de texto en BI</p>	<p>Se compone de recogida de datos de texto, pre-procesamiento de texto, extracción de características, convirtiéndolo así en la extracción de información especial y minería de datos.</p>	
<p>Modelo de BI de minería Web para el conocimiento</p>	<p>La extracción de conocimiento o información útil de manera más eficaz de la enorme fuente de información de páginas web para crear una base de conocimientos.</p>	
<p>Modelo de BI usando la arquitectura Amorphic</p>	<p>La información de la Web es extraída por el sistema prototipo Amorphic, este puede localizar los datos de interés sobre la base de los conocimientos de dominio o estructura de la página.</p>	

<p>Modelo de BI desde la voz del cliente.</p>	<p>Combinan la información no estructurada y la información estructurada de la organización. De esta se derivan los mejores conocimientos del negocio: los datos combinados.</p>	
<p>Modelos de BI particulares</p>	<p>Un modelo BI específico es creado para resolver el problema de la falta de la referencia y el prototipo de una empresa en particular.</p>	

## ESTADO DEL ARTE

### Inteligencia de negocios en Asia

Para 2012 la inteligencia de negocios en China se encontraba en una fase introductoria y no muy lejos de las empresas extranjeras en el nivel de aplicación y resultado actual. *Business Objects Corporation* (adquirida por *SAP Corporation* después), fue quien tomó la iniciativa para implementar la inteligencia de negocios en este país, hacer contratos con varios compradores domésticos fuertes tales

como *China Telecom, China Mobile, SNP, Baosteel, China Construction Bank, Shanghai Stock Exchange*, entre otros fue la clave para el éxito de esta implementación [15]

A pesar de que no fue en Asia donde se inició el concepto de BI, la cultura oriental fomenta la investigación continua. Así se puede justificar la poca diferencia en niveles de efectividad de la aplicación a pesar de la ventaja en tiempo que de por sí tienen otros países. Actualmente, desde Asia se obtienen la gran mayoría de investigaciones sobre el BI.

## Inteligencia de negocios en USA

Desde 1996 Gartner (creador del BI) empezó a desarrollar ideas de negocio para la industria estadounidense, ya en el 2001 realizó una investigación donde surge el Business Intelligence Competency Center (BICC, por sus siglas en inglés), este se puede definir como un equipo de especialistas comprometidos en las tecnologías de la información y de los negocios, responsables de la definición, la propiedad y la gestión de la ejecución de la estrategia del BI de una compañía, esto con el fin de disminuir la redundancia de datos y aumentar la eficacia en la aplicación de la misma [11], es de esta manera que USA se cataloga como pionero e incursor de BI.

Frye [16] menciona que las empresas exitosas estadounidenses tenían una característica en común, utilizan la inteligencia de negocios como una ventaja competitiva.

## Inteligencia de negocios en América Latina

La Inteligencia de Negocios se nutre de un marco conceptual interdisciplinario, en donde conviven diferentes disciplinas del conocimiento, [17] los cuales ya hacen parte de los profesionales en América latina, pero a pesar de tener el conocimiento, la implementación del BI en estos países ha sido lenta y ha presentado grandes inconvenientes a pesar de estar tan cerca de Estados Unidos (pionero en esta herramienta). Es de conocimiento general que se requiere de la infraestructura de recursos y procedimientos [17] para que un país pueda incluir en sus pymes esta herramienta.

## Inteligencia de negocios en Colombia

### *Conceptualización*

La situación de la inteligencia de negocios en Colombia es similar a la de otros países latinoamericanos, como por ejemplo México, donde se

presentan las mismas barreras para la adopción del BI, como la poca información disponible y los altos costos [18]. Colombia a diferencia de otros países latinoamericanos, se encuentra en el cuarto puesto de datos abiertos según el Global Open Data Index [19], en su investigación del 2015, esto quiere decir que es 68% más abierta y con esto se rompe la barrera de información disponible para la implementación de BI.

Según un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), desde la Facultad de Ingeniería en su departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial en el 2010, las herramientas de Inteligencia de Negocios crecen a una tasa anual del 11, 5 % y los gastos de inversión equivalen a más de siete billones de dólares, lo que demuestra lo trascendental que es la aplicación de esta tecnología.

Dentro del mismo estudio hecho por la UNAL mediante una encuesta con la participación de 98 empresas colombianas, se determinó que el 70% de los encuestados están satisfechos con los resultados del empleo de la BI en el país [20]. Algunos casos de éxito en Colombia son empresas como Alpina, Nestlé, Colsubsidio, el Ministerio de Interior y de Justicia [21], estas han implementado proyectos de BI, lo cual les ha permitido conocer a tiempo y en detalle toda la información referente a la gestión con sus clientes, oportunidades de negocio y sus campañas.

### *Investigación*

Se realizó una encuesta a 90 empresas colombianas en su mayoría del sector tecnológico, compuesto por los CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas) 6201 actividades de desarrollo de sistemas informáticos (planificación, análisis, programación, pruebas), 5820 edición de programas de informática (software), 6202 actividades de consultoría de informática y actividades de administración de

instalaciones informáticas, 6209, otras actividades de tecnologías de información y actividades de servicios informáticos, 6311, procesamiento de datos, alojamiento (hosting) y actividades relacionadas y 6312 Portales web.

El sector tecnológico fue elegido debido a la relación directa que tiene con el grupo GICOECOL (grupo de investigación de comercio electrónico colombiano) de la Universidad Distrital, el cual apoyó el desarrollo de la investigación y la ejecución de la encuesta vía web. Esta encuesta fue contestada por ingenieros que desempeñan labores administrativas y gerenciales en las empresas desde el 14 de junio hasta el 10 de julio del 2016 (ficha técnica de la encuesta realizada. Tabla 1.)

## RESULTADOS

El 96,7% de las empresas encuestadas aseguró conocer la inteligencia de negocios como “Un conjunto de tecnologías y procesos, basado en la

integración de la información disponible en toda la organización que permite comprender y gestionar el desempeño actual y futuro de la empresa”, lo que demuestra que el BI no es desconocido en el entorno, Figura 4.

Además de esto, el 34,4% argumenta que en su empresa las herramientas de BI ya están implementadas y funcionando mientras que en un 62,2% de las empresas está en proceso de implementación. Con esto se evidencia que el BI es una herramienta nueva en el entorno colombiano y debido a sus resultados a nivel mundial se ha evidenciado que es una característica diferenciadora a nivel empresarial, no obstante, es importante tener en cuenta que en un entorno competitivo como lo es el sector tecnológico todavía existen empresas en las cuales no existe esta herramienta, Figura 5.

Es necesario identificar el tipo de aplicación que se tiene implementada o en proceso, donde el más

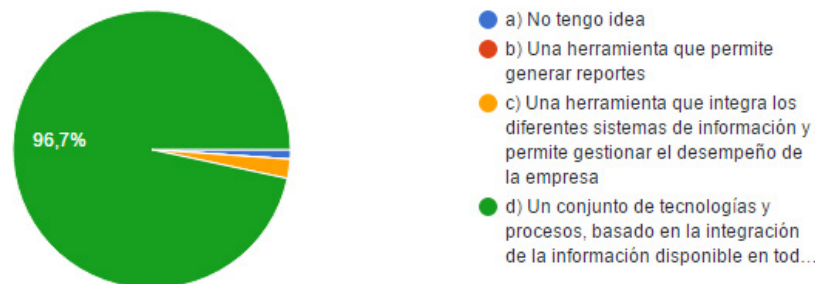


Figura 4. Concepto BI.



Figura 5. Existencia de herramientas de BI en la empresa.

popular es el desarrollo a la medida con un 45,6% debido a que las empresas encuestadas presentan gran variedad y los modelos ya desarrollados son de difícil adaptación. Este tipo de aplicación es más efectivo y versátil, pero del mismo modo puede ser más costoso que las otras opciones. La aplicación comercial, a menor medida con un 31,3%, representa relevancia a la hora de escoger el tipo de implementación mientras que el software libre tan solo es preferido por el 17,8% de las empresas encuestadas, Figura 6.

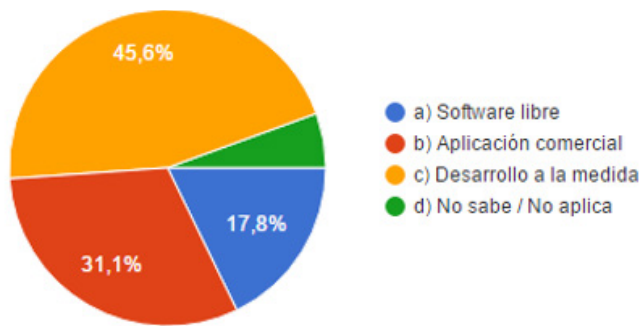


Figura 6. Tipo de aplicación de BI.

Sin embargo, para una correcta implementación del BI se hace necesario, como se ha argumentado

anteriormente, contar con diferentes tecnologías en sistemas de información. Del estudio realizado se puede identificar el CRM (gestión de relación con el cliente) como el sistema de información más común entre las empresas encuestadas. También es importante en el estudio el ERP (Planeación de recursos empresariales) y el POS (Punto de ventas). Mientras que por otro lado se evidencia el déficit de uso que se tiene del SCM (Gestión de la cadena de suministros) y el FMS (Gestión financiera), teniendo en cuenta que en el sector tecnológico estos elementos puede que no representen el mayor interés, Figura 7.

Los sistemas de información que se usan están directamente relacionados con las áreas más importantes que deben ser analizadas por una solución de BI, es por esto que se obtuvo que la industria prefiere el análisis de perfiles de clientes con un 87% y la optimización de costos con 77% con respecto a el control financiero que solo arrojó el 33.3%, lo anterior afirma que el sistema de información más importante para el sector tecnológico a la hora de aplicar un sistema de BI es el CRM, Figura 8.

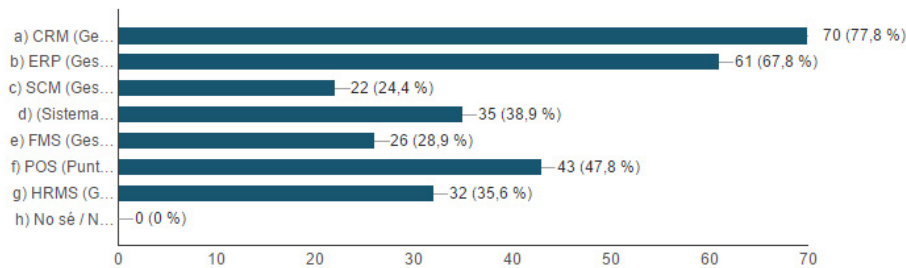


Figura 7. Tecnologías en sistema de información empresariales.

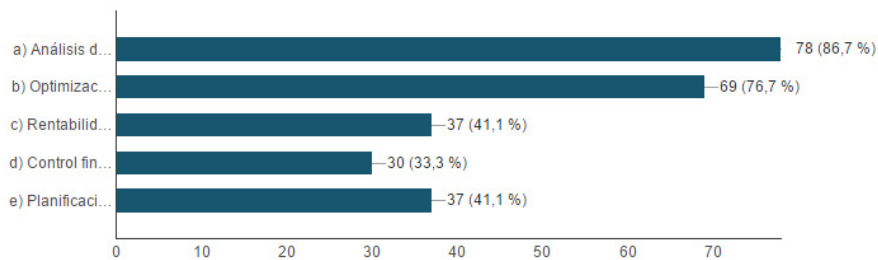


Figura 8. Áreas importantes a la hora de implementar un sistema de BI.

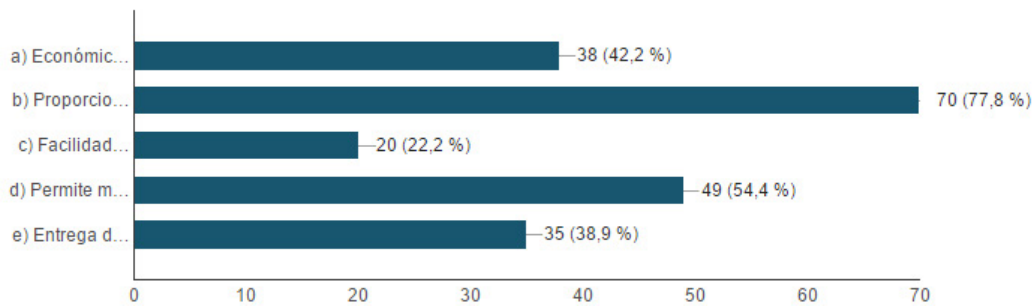


Figura 9. Adquisición del BI.



Figura 10. Resultados de la utilización de sistemas de BI.

Para la implementación del BI en la industria, el 77,8% de las empresas encuestadas consideran que la efectividad al obtener resultados seguros para la toma de decisiones es la característica más importante a la hora de adquirir una solución de BI. Además, el 54,5% considera la funcionalidad permitiendo tener bases de datos robustas por encima de factores como el costo de inversión o los aspectos de forma, Figura 9.

Finalmente es necesario conocer la satisfacción de las empresas luego de aplicar la inteligencia de negocios, y es aquí donde toma fuerza la aplicación de esta solución, el 58,9% de las empresas encuestadas están satisfechas con los resultados obtenidos y el 24,4% de la muestra obtuvo resultados acordes con las expectativas, esto quiere decir que las empresas que implementaron herramientas de BI en su organización obtuvieron una ventaja competitiva y pudieron aplicar los resultados obtenidos en estrategias para alcanzar los objetivos deseados.

Tan solo el 3,3% de las empresas encuestadas no están satisfechas con los resultados, esto puede deberse a una errónea aplicación del modelo ya que estos varían dependiendo de la organización de cada empresa, Figura 10.

Desde el punto de vista de las empresas encuestadas la resistencia al cambio es la mayor barrera a la hora de implementar el BI (39%) además el 22% de las empresas considera que el costo de la solución para la implementación del BI es muy elevado lo que dificulta su uso y aplicación en las Pymes colombianas, Figura 11.

### Posibles soluciones

- Luego de analizar los resultados, se plantean algunas posibles soluciones que son diferentes para cada tipo de empresa:

Este tipo de empresas ya cuenta con los recursos, el punto clave es la información y conocimiento de

las ventajas y beneficios. Teniendo en cuenta esto, una solución es aumentar la relación empresa-universidad que aporte investigación y teoría a la experiencia que ya se ha ganado con el tiempo, así se puede definir y ejecutar algún modelo ya existente que se adapte a las condiciones de la empresa, no sin antes analizar la calidad de sus datos, principal elemento de estudio a la hora de implementar el BI.

### **Pymes**

La falta de recursos representa el problema central, por lo que una solución para este segmento está encaminada al desarrollo de tutoriales y políticas de acción que enseñen a los pequeños y medianos empresarios a implementar modelos de BI por ellos mismos, tomando decisiones acertadas desde la creación de las organizaciones.

Del mismo modo el empresario de una pyme colombiana debe ser consciente de las herramientas que se tienen en la actualidad, aplicar minería de datos, realizar marketing digital y tener bases de datos confiables.

### **CONCLUSIONES**

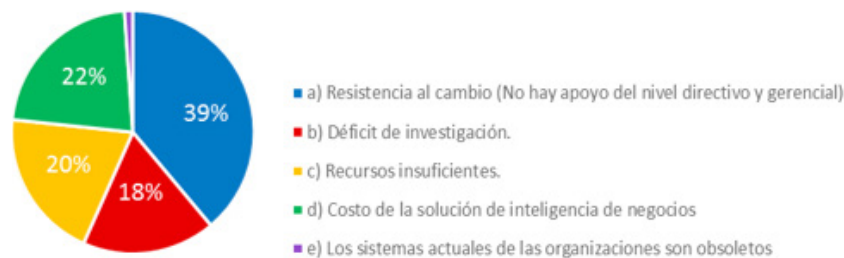
El 96% de las empresas colombianas encuestadas conocen de la herramienta y se encuentran en proceso de implementación, a pesar de eso los resultados obtenidos hasta el momento superaron las expectativas iniciales lo cual demuestra las grandes oportunidades de ventaja en las organizaciones.

Se evidenció la necesidad de tener sistemas gestores de clientes en los modelos de BI, ya que es la principal característica que buscan las empresas al momento de adquirir esta herramienta, además coincide con el sistema de información más utilizado.

En Latinoamérica varias empresas han implementado sus modelos a muy altos costos, pero con resultados diferenciadores que aumentan su ventaja frente a sus competidores, sin embargo estas han sido muy pocas.

Los empresarios colombianos no cuentan con los recursos ni con la cultura organizacional para la implementación de esta herramienta además por estar en un país en vía de desarrollo se presentan los mismos problemas de la mayoría de los países latinoamericanos, las brechas tecnológicas, la economía, la corrupción, entre otros, crean una barrera en la implementación de herramientas para el desarrollo empresarial.

El estado colombiano ha empezado un cambio para disminuir esta brecha y el primer resultado visible es lograr posicionar al país en el cuarto puesto del Global Open Data Index (entidad que estudia el open data a nivel mundial), esto permite a los empresarios colombianos obtener datos, que con estudio y ayuda de herramientas se convertirán en información valiosa para la determinación de estrategias necesarias y con esto atacar el mercado en el que se encuentren.



**Figura 11.** Cultura Colombiana.



Colombia está lejos de ser un país con altos indicadores de implementación del BI, ya se han dado los primeros pasos, y se debe seguir creciendo a nivel empresarial para romper la cultura de no implementación por altos costos, ya que como hemos visto se han creado modelos que pueden llegar a ser implementados por las mismas organizaciones sin ayuda de terceros.

## TRABAJOS FUTUROS

Dentro de los trabajos futuros se encuentra, plantear cuál de los modelos de inteligencia de negocios se adapta mejor a la cultura colombiana y generar una ayuda para su correcta implementación. Y, la definición de procesos que permitan conocer más los datos relevantes sobre los clientes potenciales y de cómo fortalecer las relaciones con los actuales partiendo del BI.

## REFERENCIAS

- [1] Q.-s. Xie y Gui-xian Zhou, "Developing a Framework for Business Intelligence Systems Based on RosettaNet Frame". *IEEE*, pp. 1-6, 2008.
- [2] A. A. Rosado Gómez y D. W. Rico Bautista, "Inteligencia de negocios: estado del arte". *Scientia et Technica Año XVI*, pp. 321-326, 2010.
- [3] M. M. Rojas and J. C. Mesa, "Collective Knowledge of the Web: source of information of process of Business Intelligence". *IEEE*, pp. 1-6, Septiembre 2011.
- [4] E. Ahumada Tello y J. M. A. Perusquia Velasco, "Inteligencia de negocios, estrategia para el desarrollo de competitividad en empresas de base tecnológica". *Universidad Autonoma de Baja California, Mexico - Contaduria y Administración*, pp. 127-158, 2014.
- [5] J. Ranjan, "Business Intelligence: Concepts, Components, Techniques and Benefits". *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, pp. 60-70, 2009.
- [6] K. Dragoljub , D. Radosav and B. Radul, "Realization Business Intelligence in Commerce using Microsoft Business Intelligence". *IEEE*, 2008.
- [7] R. Fitriana, Eriyatno y T. Djatna, "Progress in Business Intelligence System research : A literature Review". *International Journal of Basic & Applied Sciences*, pp. 96-105, 2011.
- [8] B. Dinter y A. Lorenz, "Social Business Intelligence: a Literature Review and Research Agenda". *Thirty Third International Conference on Information Systems*, pp. 1-21, 2012.
- [9] G. Barash, L. Wu y C. Bartolini, "A Service-oriented Architecture for Business Intelligence". *IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications*, 2007.
- [10] H. Cuihua y Y. Shiquan , "Research on Business Intelligence for Securities Companies' Risk Management". *IEEE*, 2008.
- [11] R. Bogza y Dorin Zaharie, "Business Intelligence as a Competitive Differentiator". *IEEE*, pp. 15-21, 2008.
- [12] M. Safeer y S. Zafar, "Impact of Business Intelligence Competency Center in Success/ Failure of B.I. Applications". *IEEE*, pp. 267-272, 2011.
- [13] A. Martin, T. Miranda Lakshmi y V. Prasanna Venkatesan, "An Analysis on Business Intelligence Models to Improve Business Performance". *IEEE- International Conference On Advances In Engineering, Science And Management* , pp. 503-308, 2012.
- [14] D. Serrano, "Big Data for Data Warehousing". *Tata Consultancy Services Ltd (TCS)*, 2013.
- [15] Y. Qiongwei, L. Yaotang y N. Qiuyun, "Research on the Application Model of Business Intelligence (BI) in E-Business from the Perspective of Chinese Culture". *2nd International Conference on Computer Science and Network Technology*, pp. 907-911, 2012.
- [16] G. Frye, "Using Business Intelligence To Build Optimal Decision Support". *Benefits & Compensation Digest*, 47(2), pp. 1-21., 2010.

- [17] A. Peña Ayala, "Inteligencia de Negocios: Una Propuesta para su desarrollo en las organizaciones". México: Instituto Politécnico Nacional, 2008.
- [18] A. G. d. P. Restrepo, "Inteligencia de negocios (BI) al alcance de las PyMEs". Departamento de Informática y Sistemas. Medellín: Escuela De Ingeniería Universidad Eafit, 2009.
- [19] GODI, "Global Open Data Index". 2015. [En línea]. Recuperado de: <http://index.okfn.org/>
- [20] J. H. Martínez García, "La inteligencia de negocios como herramienta para la toma de decisiones estratégicas en las empresas. Análisis de su aplicabilidad en el contexto ". Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [21] Abits, "Abits". Junio 2015. [En línea]. Recuperado de: <http://www.abits.com/clientes-abits-inteligencia-de-negocios/casos-de-exito-inteligencia-de-negocios>





## Impacto de la fragmentación espacial sobre el valor de los inmuebles de uso residencial utilizando la metodología de precios hedónicos, caso de estudio: Mosquera, Cundinamarca

### Impact of spatial fragmentation on value of residential housing using the hedonic price methodology, case of study: Mosquera, Cundinamarca

Laura Angélica Cadena Contreras<sup>1</sup> Wendy Yesenia Hernández Suárez<sup>2</sup>  
Héctor Javier Fuentes López<sup>3</sup>

**Para citar este artículo:** Cadena L.A., Hernández W.Y. y Fuentes H.J.(2016). Impacto de la fragmentación espacial sobre el valor de los inmuebles de uso residencial utilizando la metodología de precios hedónicos, caso de estudio: Mosquera, Cundinamarca. *Revista Redes de Ingeniería*. 7(2), 170-182. Doi: 10.14483/udistrital.jour.redes.2016.2.a06

**Recibido:** 25-abril-2016 / **Aprobado:** 20-junio-2016

#### Resumen

Este estudio determina el impacto económico de la fragmentación espacial sobre el valor comercial de los inmuebles de uso residencial utilizando el método de precios hedónicos. Se plantea un modelo basado en los atributos que se consideran más relevantes, teniendo en cuenta que este es un bien heterogéneo que se encuentra en función de sus características físicas y su entorno. La metodología es aplicada para el análisis del mercado inmobiliario del municipio de Mosquera, Cundinamarca. Los resultados de los estimadores econométricos espaciales sugieren que la fragmentación, además de ser significativa, si se presenta en bajos niveles implica un impacto negativo sobre el valor comercial de los inmuebles, mientras que si lo hace en altos niveles produce un incremento en el mismo.

**Palabras clave:** econometría espacial, fragmentación espacial, modelo hedónico, usos de suelo.

#### Abstract

This study develops the methodology to determine the economic impact of spatial fragmentation on the commercial value of property with residential use, it is using the hedonic price method based on attributes that are considered most relevant for the model, it is considering that this is an heterogeneous property that is in function on their physical characteristics and their environment. The methodology is applied to analyze the real states values in the municipality of Mosquera, Cundinamarca. The results of spatial econometric estimates suggest that fragmentation besides being significant, at low levels it impacts negatively the residential house prices and at high levels it increases the price.

**Keywords:** hedonic model, land uses, spatial econometric, spatial fragmentation.

1. Estudiante de Ingeniería Catastral y Geodesia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: lacadenacontreras@gmail.com
2. Estudiante de Ingeniería Catastral y Geodesia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: wyhernandezs@gmail.com
3. Profesor, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: hjavierf@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Como resultado de la reducida intervención estatal, los inversionistas y promotores inmobiliarios han desarrollado una dinámica en la que el crecimiento urbano depende de la relación entre la oferta y la demanda y, en consecuencia, se ha producido una transformación morfológica y funcional del territorio [1]. Los antecedentes indican que para modelar el valor que se le da a este tipo de bienes se requiere un proceso más complejo al utilizado habitualmente para atender las demandas del consumidor, ya que es necesario considerar las características tanto físicas como de localización.

El artículo se enfoca en determinar el impacto que genera la presencia de la fragmentación espacial sobre los inmuebles de uso residencial. De acuerdo a Altinok y Cengiz [2] la discordancia de las actividades del uso de la tierra y de las propiedades físicas del espacio se conoce como fragmentación espacial; un alto grado de este tipo de fragmentación demuestra la falta de integración del paisaje, siendo dividido en varias áreas (o fragmentos), cada una con diferente actividad del uso de la tierra, como residencial, industrial, etc. [3].

Dado el objetivo del estudio, se requiere analizar las características asociadas a la presencia de la fragmentación espacial reflejadas en el valor de las propiedades residenciales, por lo que es necesario indagar sobre los aportes existentes. Koster y Rouwendal [4] presentan el análisis de la influencia que tiene la pluralidad de los usos de la tierra en los valores inmobiliarios residenciales ubicados en Rotterdam (Holanda), este menciona la existencia de tipos de uso del suelo que afectan positivamente los precios de la vivienda.

Los efectos implícitos del precio pueden ser estimados a través de un análisis de precios hedónicos [5]; aunque este tipo de análisis se ha usado frecuentemente para examinar los efectos de actividades

específicas del uso de la tierra sobre el precio de los bienes, son reducidas las investigaciones empíricas enfocadas a la fragmentación espacial. Kockelman [6] involucra no solamente los valores comerciales sino también los de renta de las casas localizadas en San Francisco, California, encontrando una relación estadísticamente significativa y negativa entre los valores de las propiedades y la fragmentación espacial; resultados similares a los obtenidos por Kuethe [3] en su estudio realizado en la ciudad de Milwaukee, Wisconsin. Por otro lado, Geoghegan, Wainger y Bockstael [7] indican en su estudio, que la fragmentación espacial no tiene impacto en los valores de los inmuebles.

Dadas las ambigüedades de las conclusiones obtenidas en los estudios previos, el presente artículo busca contribuir a la literatura existente, además de ser la base para investigaciones posteriores como herramienta para analizar la problemática que viven los municipios del país, debido al conflicto de usos del suelo y todos aquellos temas que implican el ordenamiento territorial, como la falta de planeación y gestión urbana, puesto que actualmente pasó de ser una fortaleza a una debilidad [8].

El contenido del artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera, después de la introducción, en la segunda sección son descritas la estructura general del método de precios hedónicos y las consideraciones necesarias para abordarse desde la perspectiva de la econometría espacial, en la tercera sección se presenta el estudio de caso para el municipio de Mosquera, con sus respectivos resultados. Finalmente, en las dos últimas secciones se aportan discusiones y conclusiones fundamentadas en estimaciones obtenidas, manifestando las ventajas de estas técnicas en el tratamiento de datos.

## EL MÉTODO DE PRECIOS HEDÓNICOS

El modelo teórico en el que se basa el estudio de los precios hedónicos fue desarrollado por Rosen [5], quien plantea que los bienes son valorados por

la utilidad que brindan sus atributos; los precios y las características asociadas a cada uno de estos bienes definen un conjunto de precios implícitos o “hedónicos”. Esta teoría es formulada bajo el supuesto de un mercado en equilibrio, en el que los ofertantes y demandantes compiten por encontrar las mejores características en el bien deseado.

La teoría de precios hedónicos define el suelo y los inmuebles como un bien compuesto descrito por un conjunto de características físicas, de localización y entorno, identificadas por la ecuación de regresión:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

Donde  $Y$  representa el vector  $N \times 1$  del valor comercial de los inmuebles.  $X$  es la matriz de dimensiones  $N \times K$ , siendo  $K$  las diferentes características que se definen como variables económicas homogéneas, a partir de las cuales se construyen los bienes heterogéneos. La contribución de cada atributo para el valor de un inmueble es capturada por el vector  $\beta$  de  $K \times 1$ , el cual señala la variación parcial de  $Y$  con relación a la variación de  $X$ . Donde el término del error que asume la forma de una distribución normal con media cero y varianza constante  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ . Entre los atributos comúnmente considerados se encuentran las características físicas de la construcción y aquellos relacionados con el entorno en el que el predio se halla ubicado [9].

La teoría clásica de localización sugiere que los precios de la vivienda disminuyen a medida que la distancia al centro urbano aumenta, por esta razón la ubicación es frecuentemente modelada a través de una variable que determine esta distancia; sin embargo, el modelo monocéntrico tradicional no logra describir acertadamente la estructura espacial de los múltiples núcleos que se encuentran a lo largo de las áreas urbanas modernas [10]. Por otro lado, estudios como el de McMillen [11] se orientan a demostrar que la desaparición del modelo clásico es exagerada, puesto que la ciudad central

sigue dominando los patrones espaciales urbanos y las ideas básicas del modelo se aplican a las ciudades policéntricas más complejas. El modelo sigue siendo un instrumento analítico útil, puesto que gran parte de la aparente disminución de la capacidad explicativa del modelo de ciudad monocéntrica es en realidad una mala interpretación de la evidencia empírica.

Otras distancias usualmente consideradas en este tipo de metodología, son aquellas relacionadas a los sitios más representativos en cuanto a cultura, educación, servicios, comercio, industria y zonas verdes y espacios abiertos; ya que estas se utilizan para el cálculo de algunas variables que afectan directamente el valor comercial de los inmuebles.

## ESTIMACIÓN DEL MODELO

Para la estimación del modelo de precios hedónicos se ha utilizado tradicionalmente el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO); sin embargo, considerar la dimensión espacial implica preguntarse dónde ocurre el fenómeno y de qué manera dicha distribución geográfica condiciona o influye en estos. De ahí que los métodos de análisis espacial han adquirido mayor relevancia en estudios que requieren capturar de manera más precisa las interacciones entre las observaciones espaciales, puesto que emplean la ubicación tanto en términos absolutos (dónde ocurre), como en términos relativos (distribución y distancia entre las observaciones) [12].

El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) es considerado como una herramienta para conocer la variación del valor comercial de los inmuebles, ya que permite analizar la presencia de heterogeneidad y dependencia espacial en un espacio geográfico. [13].

La heterogeneidad espacial hace referencia a la variación de las relaciones en el espacio. La dependencia o autocorrelación espacial se evidencia

ante la presencia de una relación funcional entre lo que ocurre en un determinado punto del espacio y la dinámica que este tiene con otro lugar, es decir, en un proceso espacial lo que ocurre en una unidad, puede estar afectado por sus vecinos y al mismo tiempo los cambios en dicha unidad pueden afectar a estas vecindades [14].

Anselin [15] diferencia la existencia de dos tipos de dependencia espacial: la primera es considerada como ruido, porque no afecta los coeficientes del modelo y solo interesa para mejorar la estimación; esta se encuentra relacionada al término del error, razón por la cual se viola el supuesto de la no correlación entre errores que asume la regresión de mínimos cuadrados. Si se ignora esta dependencia los estimadores de la regresión serán ineficientes, aunque no sesgados [16]. La segunda hace referencia a la autocorrelación espacial sustantiva, que se presenta cuando la variable dependiente está determinada por el valor que asume en las unidades geográficas vecinas. En dado caso que, por el método de mínimos cuadrados, esta se llegara a ignorar, la estimación de los coeficientes será sesgada, lo que conlleva a tener problemas en la estimación y el signo de los coeficientes, la significancia de los mismos y la bondad del ajuste del modelo [12].

La presencia de la autocorrelación en el término del error puede ser tratada a través de un Modelo Espacial del Error (MEE), que tiene como supuesto que el origen de la dependencia espacial que contiene la variable endógena es el resultado de la autocorrelación del término del error y la distribución geográfica de las variables explicativas [17]. La estructura del MEE está dada por:

$$Y = X\beta + u \quad (2)$$

$$u = \lambda W u + \varepsilon \quad (3)$$

Donde  $u$  es el término de perturbación que se asume para seguir un proceso autoregresivo espacial, el cual está en función del parámetro espacial

desconocido  $\lambda$  y una matriz exógena de pesos espaciales  $W$  de  $N \times N$ . Esta matriz identifica la vecindad más representativa para cada observación, los elementos fuera de la diagonal toman valores más grandes que cero cuando dos observaciones comparten una relación significativa, de igual modo ninguna observación puede ser vecina de sí misma y, como resultado, los elementos de la diagonal son iguales a cero. El signo de  $\lambda$  indica la naturaleza y grado de la dependencia espacial de los residuales de la regresión. El término  $\varepsilon$  representa el vector de errores no correlacionados. Teniendo en cuenta que los supuestos de los MCO son violados, existen procedimientos alternos para la estimación que incluyen la máxima verosimilitud y momentos generales (GM) [3].

La alternativa para modelar este tipo de autocorrelación sustantiva es el modelo de Rezago Espacial, que considera la dependencia espacial introduciendo un rezago. Este tipo de modelo representa la dinámica entre la variable dependiente y las variables independientes en las unidades vecinas. [12]. El modelo de Rezago Espacial toma la forma:

$$Y = \rho W_y + X\beta + \varepsilon \quad (4)$$

Siendo  $\rho$  un parámetro desconocido de características espaciales, el signo de este parámetro indica la naturaleza de la dependencia espacial (positiva o negativa), sugiriendo así la existencia de la misma en los valores observados del mercado. El término del rezago espacial  $W_y$ , es endógeno, así los MCO pueden conducir a una estimación parcial de los coeficientes; sin embargo, no es necesario limitarse a este método, puesto que existen alternativas como la máxima verosimilitud y mínimos cuadrados en dos etapas [18].

Para la correcta especificación y aplicación de un método de estimación es necesario detectar y analizar el tipo de dependencia espacial que presenta el modelo que se desarrolla o con que se trabaja [19]; para su tratamiento el procedimiento más

común es aplicar el Índice de Morán y la prueba del Multiplicador de Lagrange (LM) a los residuos de la regresión de MCO [20]. Se espera que estos residuos tengan autocorrelación en caso de que en el modelo la relación espacial no haya sido tenida en cuenta correctamente.

El Índice de Morán mide la tendencia de valores similares a agruparse en el espacio, estos valores varían entre -1 y 1, donde 0 implica la no existencia de un patrón definido, mientras valores tendientes a -1 indicarían autocorrelación negativa y 1 el máximo de autocorrelación positiva [12]. Para los LM se tiene que estos siguen una distribución  $X^2$  asintótica y la hipótesis nula es que no existe dependencia espacial. De acuerdo con Anselin, Bera, Florax, y Yoon [21] para escoger el modelo más apropiado es necesario comparar los estadísticos  $LM_\lambda$  y  $LM_p$ : si  $LM_\lambda$  es robusto y también más significativo que  $LM_p$ , sin ser este último robusto, el modelo debe ser especificado con la dependencia en el error; en el caso de que ambas condiciones se cumplan para  $LM_p$  la correcta especificación es de dependencia sustancial.

Para estimar la ecuación hedónica es necesaria la elección de la forma funcional adecuada, la cual puede ser lineal o no. Debido a que no se ha establecido un criterio para la selección de una forma funcional que ofrezca mejores resultados, dicha elección se reduce a una cuestión empírica. Por esta razón, se contrastan diferentes formas funcionales y se utiliza la que proporcione un mejor ajuste. Pueden destacarse entre las formas funcionales más utilizadas tradicionalmente la lineal, la semilogarítmica y la doblemente logarítmica [22]. Bajo este supuesto, la forma funcional que mejor demuestra la relación entre el precio y las variables explicativas en el artículo es la semilogarítmica; además del buen ajuste que ofrece, de acuerdo con Selim [23] es la preferida porque la estimación de los coeficientes generados puede ser interpretada como la proporción del precio de un bien que es directamente atribuible a las características

respectivas del mismo. Esta forma funcional es definida mediante la siguiente expresión:

$$\ln Y = X\beta + \varepsilon \quad (5)$$

Con el ejemplo de Malpezzi [24] en un modelo lineal, el valor agregado de un tercer baño en una residencia de un dormitorio, es el mismo que se suma a una con cuatro dormitorios, lo que parece poco probable, contrastando con el modelo semilogarítmico, que permite variaciones en el valor monetario de una característica particular, el precio de un componente depende proporcionalmente de otras características de la vivienda como el tamaño y la calidad. Además, su interpretación es sencilla, puesto que un coeficiente puede ser interpretado como el porcentaje de variación aproximado en el precio, dado un cambio unitario en la variable independiente, lo que se conoce como "semielasticidades". Por ejemplo, si el resultado de las ponderaciones de una variable que representa a los garajes es 0,09, entonces un garaje adicional incrementaría el valor de la vivienda en 9 %.

## Fragmentación

Teniendo en cuenta que los objetivos del artículo se enfocan al análisis del impacto que tiene la fragmentación espacial sobre el valor del suelo en los predios de uso residencial, es necesario realizar un modelo que involucre no solo los valores comerciales y características físicas de los inmuebles, sino también la diversidad de las actividades del uso de la tierra.

El grado de fragmentación para cada unidad de estudio se calcula de la siguiente manera:

1. Es imprescindible disolver los linderos entre los que tienen una misma área de actividad del suelo; por ejemplo, si dos lotes consecutivos tienen un uso de distrito de adecuación de tierras el límite entre estos se remueve y el resultado es un parche del mismo uso.



- Una vez son identificados los respectivos parches, se procede a utilizar la herramienta *Patch Analyst*,<sup>4</sup> para obtener las variables área y perímetro; y así adquirir la razón entre el perímetro y el radio del área (medida de la fragmentación espacial). Este radio indica si la fragmentación es pequeña o se extiende y fue previamente usado por Geoghegan, Wainger y Bockstael [7].

## CASO DE ESTUDIO

La disminución de la intervención estatal en la gestión urbana ha permitido el aumento de la acción de agentes privados en el desarrollo territorial, que se ha materializado en las diferentes ofertas de proyectos de vivienda, generando así el fenómeno de fragmentación espacial en el territorio de los municipios aledaños a la capital, sobre los cuales ha tenido mayor influencia debido a su expansión [25].

Lo primero que se definió fue el área sobre la que se iba a realizar el estudio; debido a los resultados de una investigación *a priori* que tenía como propósito la búsqueda de los municipios que contarán con mayor nivel en su desarrollo territorial, el análisis se orientó hacia Mosquera, puesto que en el año 2015 fue clasificado por el “Departamento Nacional de Planeación”, en el tercer puesto entre los municipios con mejores resultados en el desempeño integral de los 1102 que conforman el país y como el que mejor invirtió su presupuesto a nivel departamental en el momento del cumplimiento de las metas propuestas en el Plan de Desarrollo Territorial [26].

Después de definir donde se enfocaría el estudio, fue necesario buscar datos correspondientes al mercado inmobiliario de Mosquera, realizando tanto trabajo en campo como virtual con formatos electrónicos ofrecidos por diferentes agentes

mediante páginas web; cabe aclarar que la búsqueda se limitó a las ofertas correspondientes al último trimestre del año 2015 y el primer bimestre del año 2016. Paralelo al trabajo realizado en campo, se procedió a adquirir información de tipo digital georeferenciada del Municipio, solicitada a la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial de Mosquera y entregada en medio magnético. Se realizó la revisión del PBOT (Plan Básico de Ordenamiento Territorial) apoyándose en los anexos del mismo, con lo que fue posible observar la clasificación y reglamentación de los usos allí existentes.

Con el trabajo de campo se identificaron los sitios más representativos de Mosquera en cuanto a cultura, educación, servicios, comercio, industria, centro del municipio y zonas verdes y espacios abiertos; ya que estos fueron necesarios para el cálculo de algunas variables que afectan directamente el valor comercial de los inmuebles.

Posteriormente, se relacionó la información georeferenciada con los datos correspondientes a las ofertas, es decir, se ubicó espacialmente cada oferta en el predio correspondiente. A fin de establecer la escala de trabajo deseada (a nivel de manzanas), se eliminaron los límites prediales; teniendo en cuenta que el propósito de la investigación se restringió al uso residencial (neto o con comercio y servicios) de carácter urbano, se filtraron las manzanas que cumplieran con estas características. Para consolidar la base de datos del proyecto se procedió a seleccionar únicamente las manzanas que presentarían una o varias ofertas, con lo que la muestra se ajustó a un total de 200 datos que incluyen el valor comercial del inmueble y un número de características de cada uno de los predios para usarlas como variables explicativas en el modelo de precios hedónicos. La Tabla 1 muestra la información utilizada para el modelo de precios hedónicos.

1. Patch Analyst es una extensión del software ArcGis, complemento que facilita el análisis espacial de los diferentes parches que se presentan en el paisaje, asignando a cada uno de estos sus respectivos atributos. [39]



**Tabla 1.** Resumen de estadísticas: transacciones y datos del uso de la tierra 2015 – 2016 Mosquera, Cundinamarca.

Variable	Media	Std. Dev
Precio de venta (COP Pesos)	\$ 227.435.538	\$ 112.966.052
Habitaciones	3,7592	1,6363
Baños	2,7317	1,0756
Edad (Años)	6,0568	4,4082
Área construida(m <sup>2</sup> )	119,926	63,450
Distancia (km)		
Centro del municipio	1,3018	1,2168
Uso comercial	1,2107	1,1007
Uso cultural	0,9272	1,2576
Uso educativo	0,7152	0,5678
Uso industrial	0,8013	1,0838
Uso servicios y salud	0,8835	0,5195
Zonas verdes y espacios abiertos	0,2662	0,5065
Fragmentación	0,1405	0,0879
Dummy (proporción %)		
Residuos (rellenos sanitarios)	0	
Riesgos industriales	0	
Riesgo de remoción	0	
Garajes	58	

Para las variables tipo *dummy* correspondientes a los *residuos*, *riesgos industriales* y *de remoción*, teniendo en cuenta que su nivel de significancia es nulo, no se consideró relevante su inserción en el modelo; situación similar se presentó con la *dummy garajes*, en la que, dado su elevado nivel porcentual, se evidenció que la inclusión de la misma no generaría variaciones notables en el valor comercial del inmueble.

Teniendo la información de los puntos representativos anteriormente mencionados, se procedió a ubicarlos en la herramienta SIG, agrupándolos según su uso y el centro del municipio; por ser necesario para realizar el cálculo de las distancias entre las manzanas, el centro del municipio y cada una de estas áreas de actividad.

Teniendo en cuenta lo propuesto por McMillen [11] y Alonso [10] sobre el modelo de la teoría clásica de localización, se considera que la morfología espacial

de Mosquera a pesar del desarrollo, ha mantenido un carácter monocéntrico, por lo que la expectativa es que el precio de los inmuebles sea mayor a medida que la oferta se ubique más cerca del centro.

En la Tabla 2 se disponen el número de parches y promedio de la fragmentación espacial (como medida calculada por la diferencia entre el perímetro y el radio del área) correspondiente a cada una de estas categorías. La Secretaria de Planeación del municipio realiza y define la clasificación del uso de la tierra en dos zonas, la primera es la urbana que contiene diecisiete áreas de actividad, la segunda es la rural, clasificada en cuatro tipos de suelo (protección, rural, suburbano y expansión) con un total de veinte áreas de actividad [27]. Con el propósito de optimizar el cálculo de la fragmentación, esta clasificación se delimitó en catorce áreas de actividad del uso del suelo para la totalidad del municipio (Tabla 2).

**Tabla 2.** Resumen de las estadísticas: clasificación del uso de la tierra 2015-2016 Mosquera, Cundinamarca.

Áreas de actividad del uso del suelo	Cantidad	Promedio
		Perímetro / Radio del área
Residencial neto	280	0,0161
Residencial con comercio y servicios	127	0,0563
Comercio y servicios	59	0,0209
Industrial	12	0,0037
Integral mixta	12	0,0077
Institucional	15	0,0041
Dotacional	9	0,0203
Centros poblados	111	0,0313
Urbanos básicos	1	0,0510
Plataformas logísticas	27	0,0037
Distrito de adecuación de tierras	384	0,0026
Minería	76	0,0021
Forestal Productora-Protectora	76	0,0016
Suelo de Protección	19	0,0037

Los resultados de la estimación semilogarítmica de precios hedónicos por el método MCO son presentados en la primera columna de la Tabla 3, en esta también se incluyen los del *test* de los multiplicadores de Lagrange para ambos modelos (Rezago Espacial y Error Espacial), al comparar estos estadísticos ( $LM_\lambda$  y  $LM_p$ ) para seleccionar el modelo más adecuado, se evidenció que los dos son significativos, al igual que su robustez. Anselin, Bera, Florax y Yoon [21] sugieren que cuando ambos test son estadísticamente significativos, el de mayor valor será preferido, lo que conllevó a elegir el MEE, que como se mencionó anteriormente, mitiga los problemas asociados con la dependencia espacial omitida o las variables no observadas.

Como resultado, el modelo de precios hedónicos es estimado siguiendo la especificación del error espacial utilizando el estimador de Máxima Verosimilitud calculado en GeoDa. El software permite efectuar todas las etapas requeridas para el manejo

de este tipo de datos; representación cartográfica, estudio analítico y gráfico de la autocorrelación espacial, análisis exploratorio multivariante y regresión espacial [28]. El resultado de la estimación del error espacial se presenta en la columna dos de la Tabla 3.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La Tabla 3 compara los resultados del MCO y el MEE, en esta se muestran los beneficios de incluir la autocorrelación en los errores, los que se evidencian en la estimación del error estándar y en la variación de los coeficientes. Visualizándose en el cambio de la significancia del coeficiente de *baños*, el cual aumenta en el MEE.

La mayoría de los coeficientes estimados de las especificaciones del error espacial son estadísticamente significativos. Las excepciones incluyen la *edad*, el *uso industrial* y el *uso de servicios*.

**Tabla 3.** Resultados del modelo hedónico.

Variable	Mínimos Cuadrados Ordinarios			Error Espacial		
	Coefficiente	Std. Error		Coefficiente	Std. Error	
Constante	18,44395	0,0975	***	18,4441	0,0942	***
Habitaciones	-0,04355	0,0174	**	-0,04355	0,0168	**
Edad	0,00284	0,0042		0,00284	0,0041	
Área construida	0,00461	0,0004	***	0,0046	0,0004	***
Baños	0,08971	0,0273	**	0,0897	0,0264	***
Uso comercial	0,22149	0,0737	**	0,22145	0,0712	**
Uso cultural	0,20866	0,0839	**	0,20875	0,0812	**
Uso educativo	-0,1929	0,0723	**	-0,19279	0,0699	*
Uso industrial	0,01798	0,0684		0,01801	0,0661	
Uso servicios	0,00512	0,0824		0,00516	0,0796	
Zonas verdes y espacios abiertos	-0,23196	0,1088	**	-0,23186	0,1051	**
Centro del municipio	-0,28907	0,0804	***	-0,28924	0,0778	***
Fragmentación	0,91363	0,2335	***	0,91338	0,2257	***
R-cuadrado		0,76			0,76	
R-cuadrado ajustado		0,7444				
Error		0,9881				
Rezago		0,8865				
Robustez del error		0,9859				
Robustez del rezago		0,8862				
Coefficiente de error espacial				0,0033	0,1678	

Los resultados sugieren que los precios de los inmuebles muestran que añadir un metro cuadrado en el *área construida* genera un aumento del 4,6%; con la adición de un *baño*, el valor comercial incrementará en un 8,9%. Posiblemente esto se debe a que la mayor parte de los predios presentan una alta cantidad de este tipo de dependencias y una incorporación de la misma no requiere una reducción significativa en el área construida.

Mosquera es un municipio que contempla la idea de localizar las áreas de actividad comercial y de servicios no solo en el centro del municipio sino en toda su extensión. Se estima que entre más aislada se encuentre la ubicación del predio de las zonas comerciales netas, el valor pedido por el inmueble tendrá un

incremento del 22% por cada kilómetro que se aleje de dicha zona. Considerando que las zonas verdes y espacios abiertos son áreas que aportan al atractivo de un sector, se puede afirmar que la relación es positiva, en cuanto a la reducción de la distancia se refiere, es decir, el inmueble incrementará su valor en un 23% por cada kilómetro que se encuentre más cerca de este tipo de zonas. Como se predijo inicialmente la relación cuantitativa entre el centro del municipio y el valor de los predios es positiva, justificándose bajo la premisa que allí se encuentran ubicados los puntos más representativos y una alta proporción de las áreas residenciales con el mayor valor.

La variable en la que se hace énfasis de acuerdo a los propósitos del estudio es la medida de la

fragmentación, siendo una de las más significativas. Los resultados de la variable se pueden evidenciar en la Figura 1, donde se presenta el mapa de la fragmentación espacial, la cual es dividida en quintiles, las áreas de uso *residencial con comercio y servicios* pertenecientes a la zona urbana son las más fragmentadas, representadas por los niveles más oscuros. Además, se evidencia un patrón en el que las vecindades menos fragmentadas se localizan en la zona rural, a excepción de la *plataforma logística ALO* en el segundo quintil, el suelo suburbano entre el segundo y tercer quintil y los *centros poblados* en el cuarto quintil. El patrón observado de la fragmentación espacial es consistente con estudios anteriores, como el de Kueth [3] quien concluyó que los bajos niveles de fragmentación tienen un impacto negativo sobre el valor de los

inmuebles, mientras que los altos producen un incremento. Por otro lado, Irwin & Bockstael [29] encuentran que la diversidad crece y luego desciende a medida que se aleja del centro de la ciudad hacia la zona rural, esto se debe a que el incremento de la fragmentación se relaciona con la disminución de la superficie total de los parches, a un mayor número de fragmentos y una mayor dispersión de los mismos.

## CONCLUSIONES

El valor comercial de los inmuebles varía directamente con la fragmentación espacial. Las posibles causas del comportamiento de esta variable son: un ineficiente plan de desarrollo urbanístico y la reducida intervención municipal en la gestión urbana,

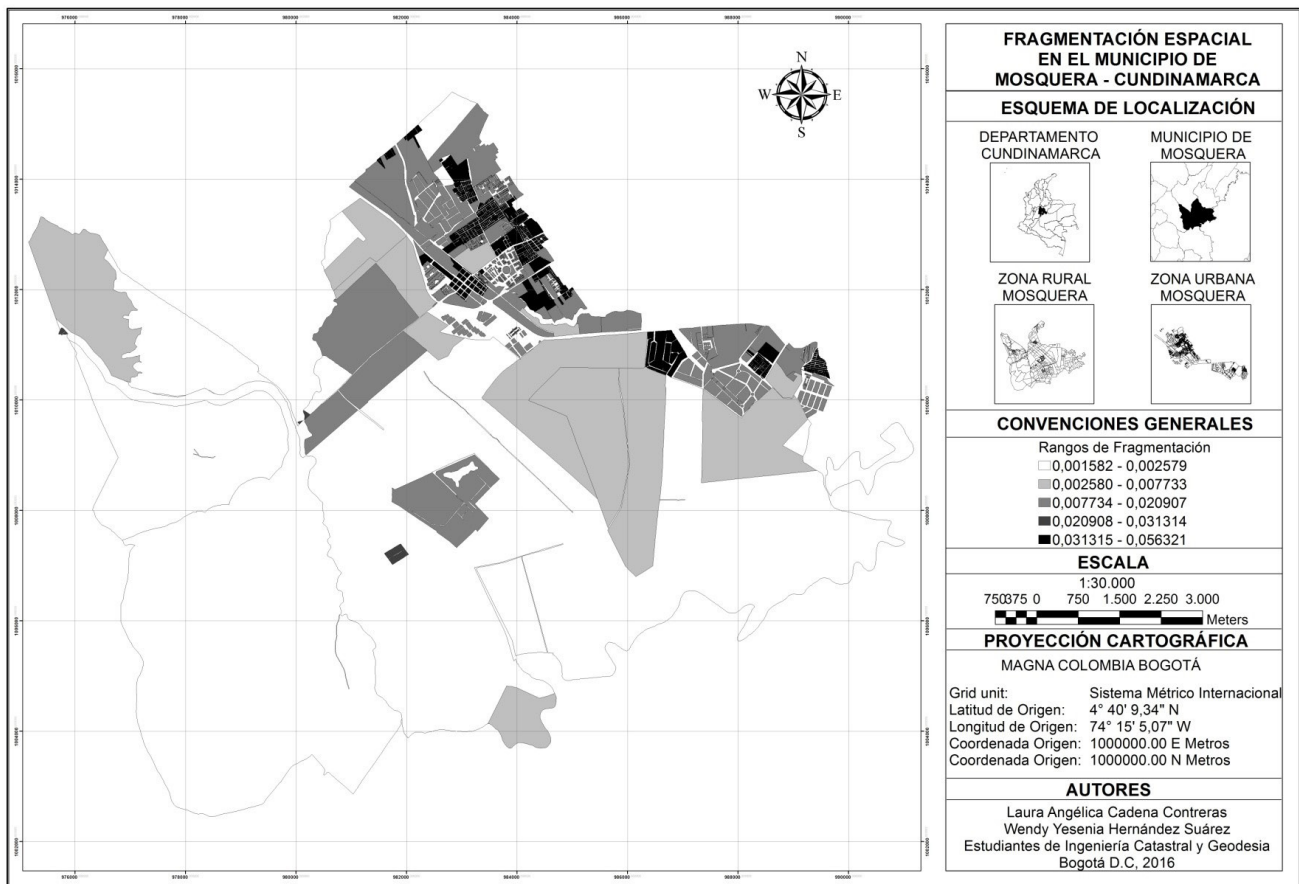


Figura 1. Mapa Fragmentación Espacial Mosquera, Cundinamarca.

producidas por el apaciguamiento en las normas, el incremento de la dinámica inmobiliaria y la falta de integración del paisaje. Obteniendo como resultado un conjunto de fragmentos dispersos con diferentes usos de la tierra, sin ningún principio ordenador en común con la estructura urbana y regional. Por esta razón, estrategias de planificación urbana a corto plazo son las alternativas aconsejables para ordenar dichos fragmentos, así como propiciar la creación de escenarios adecuados para el desarrollo local y la expansión equilibrada del municipio.

El cálculo empírico de los precios implícitos y la estimación del valor de venta de la vivienda, obtenidos a partir del modelo hedónico, pueden extenderse tanto a los campos de la teoría urbana, como al análisis de las diferencias entre el precio de los inmuebles abordado desde la teoría monocéntrica o la multicéntrica, haciendo referencia esta última a la distancia a distintos centros de actividad económica. Además, si las entidades competentes gestionarán este tipo de investigación, se podría pensar en realizar comparaciones del precio de las transacciones inmobiliarias y de sus principales determinantes, tanto a nivel espacial como temporal.

El impacto de la expansión de los negocios inmobiliarios en el desarrollo urbano se hace evidente en la influencia que ha tenido Bogotá, D.C., sobre los municipios aledaños. Con el propósito de hacer la capital más competitiva frente a otras ciudades, busca atraer inversiones y movimiento de capital, materializando diferentes ofertas de proyectos, razón por la cual Mosquera se vio obligada a robustecer la reglamentación correspondiente a los usos de la tierra, su extensión y la diversidad de los mismos. Sin este tipo de limitaciones y de acuerdo a los resultados del estudio, una modificación en la superficie total de los parches, el número de fragmentos y la dispersión de los mismos, generaría un cambio en la fragmentación espacial y por consiguiente una variación significativa sobre el valor comercial de los bienes.

## REFERENCIAS

- [1] S. V. Koppmann, "segregación residencial y apropiación del espacio: la migración hacia las urbanizaciones cerradas del área metropolitana de Buenos Aires (Argentina)", *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, n° 94, pp. 1-11, 2001.
- [2] E. Altinok y H. Cengiz, "The Effects of Urban Sprawl on Spatial Fragmentation and Social Segregation in Istanbul", *Proceedings 44th ISOCARP Congress*, 2008.
- [3] T. H. Kuethe, "Spatial Fragmentation and the Value of Residential Housing", *Land Economics*, vol. 88, n° 1, pp. 16-27, febrero 2012.
- [4] H. Koster y J. Rouwendal, "The Impact of Mixed Land Use on Residential Property Values", *Journal of Regional Science*, vol. 52, pp. 733-761, 2012.
- [5] S. Rosen, "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiations in Pure Competition", *Journal of Political Economy*, vol. 82, n° 1, pp. 34-55, 1974.
- [6] K. M. Kockelman, "The Effects of Location Elements on Home Purchase Prices and Rents in San Francisco Bay Area", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Record*, pp. 40-50, 1997.
- [7] J. Geoghegan, L. A. Wainger y N. E. Bockstael, "Spatial Landscape Indices in a Hedonic Framework: An Ecological Economics Analysis Using GIS", *Ecological Economics*, vol. 23, n° 3, pp. 251-264, 1997.
- [8] M. A. Cruz, "Alcaldes de Cundinamarca, preocupados por el crecimiento urbano", 29 Febreo 2016. [En línea]. Consultado el 1 de marzo de 2016, disponible en <http://www.eltiempo.com/bogota/alcaldes-de-cundinamarca-preocupados-por-crecimiento-urbano/16524295?stopapp>
- [9] C. E. M. Martínez y Ó. O. M. Martínez, "Estimación de precios hedónicos para propiedades residencial y comercial en la ciudad de Bogotá", *Ingeniería*, vol. 8, n° 1, pp. 10-17, 2003.

- [10] W. Alonso, *Location and Land Use*, Cambridge: Harvard University Press, 1964.
- [11] D. P. McMillen, "Testing for Monocentricity", *A Companion to Urban Economics*, pp. 128-140, 2006.
- [12] L. L. S. Peña, "Alcances y límites de los métodos de análisis espacial", *Papeles de Población*, vol. 2, n° 72, pp. 147-179, 2012.
- [13] H. Arellano y J. O. Rangel, "Patterns in the distribution of vegetation in paramo areas: heterogeneity and spatial dependence", *Caldasia*, vol. 30, n° 2, pp. 355-411, 2008.
- [14] P. Aroca, "Econometría espacial: una herramienta para el análisis de la economía regional", *Producción IDEAR*, pp. 1-19, 2000.
- [15] L. Anselin, "Spatial data analysis with GIS: an introduction to application", University of California, Santa Bárbara, 1992.
- [16] L. Anselin<sup>2</sup>, "Under the hood Issues in the specification and interpretation of spatial regression models", *Agricultural Economics*, vol. 27, n° 3, pp. 247-267, 2002.
- [17] R. D. Baller, L. Anselin, S. F. Messner, G. Deane y D. F. Hawkins, "Structural covariates of U.S country homicide rates: Incorporating spatial effects", *Criminology*, vol. 39, n° 3, pp. 561-589, 2001.
- [18] L. Anselin<sup>3</sup>, "Econometric Theory", de *Palgrave Handbook of Econometrics*, vol. 1, H. Hassani, T. Mills y K. Patterson, Edits., Palgrave Macmillan, 2006, pp. 901-941.
- [19] J. A. P. Pineda, "Econometría espacial y ciencia regional", *Investigación Económica*, vol. 65, n° 258, pp. 129-160, Octubre 2006.
- [20] J. M. Mueller y J. B. Loomis, "Spatial Dependence in Hedonic Property Models: Do Different Corrections for Spatial Dependence Result in Economically Significant Differences in Estimated Implicit Prices?", *Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 33, n° 2, pp. 212-231, 2008.
- [21] L. Anselin, A. K. Bera, R. Florax y M. J. Yoon, "Simple diagnostic test for spatial dependence", *Regional Science & Urban Economics*, vol. 26, pp. 77-104, 1996.
- [22] J. M. N. Tabales, N. C. Villamandos y G. M. Vázquez, "Aproximación a la valoración inmobiliaria mediante la metodología de precios hedónicos", de *Conocimiento, innovación y emprendedores: camino al futuro*, España, Universidad de la Rioja, 2007, pp. 2688-2701.
- [23] S. Selim, "Determinants of house prices in Turkey: A hedonic regression model", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, vol. 9, n° 1, pp. 65-76, 2008.
- [24] S. Malpezzi, "Hedonic Pricing Models: A selective and Applied Review", *Section in Housing Economics and Public Policy: Essays in Honor of Duncan MacLennan*, pp. 1-43, 2002.
- [25] H. J. F. Durán, "Desigualdad, segregación socio-espacial y precios del suelo en la ciudad latinoamericana. El caso de Bogotá en los años noventa", *UIS Humanidades*, vol. 38, n° 1, pp. 109-126, 2010.
- [26] Departamento Nacional de Planeación, "Planeación Nacional revela radiografía de gestión de 1.102 municipios", 23 de noviembre de 2015. [En línea]. Consultado el 2 de diciembre de 2015, disponible en <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Planeaci%C3%B3n-Nacional-revela-radiograf%C3%ADa-de-gesti%C3%B3n-de-1-102-municipios-.aspx>
- [27] Concejo Municipal de Mosquera, *PBOT Mosquera*, Mosquera, Cundinamarca, 2013.
- [28] J. C. Martori y K. Hoberg, "Nuevas técnicas de estadística espacial para la detección de clusters residenciales de población inmigrante", *Revista Electrónica De Geografía Y Ciencias Sociales*, vol. 12, n° 263, pp. 1-7, 15 Abril 2008.
- [29] E. G. Irwin y N. E. Bockstael, "The evolution of urban sprawl: Evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation", *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 104, n° 52, pp. 20672-20677, 2007.
- [30] A. Ciocchetto, B. Gutiérrez y S. Ortiz, "Vivir en áreas residenciales monofuncionales desde

- la perspectiva de género”, de *Congreso Internacional de Vivienda Colectiva Sostenible*, Barcelona, 2014.
- [31] R. M. Serrano y E. V. Valcarce, “Econometría Espacial: Nuevas técnicas para el análisis regional. Una aplicación a las regiones europeas.”, *Investigaciones Regionales*, vol. 1, pp. 83-106, 29 Junio 2004.
- [32] S. Basu y T. G. Thibodeau, “Analysis of Spatial Autocorrelation in House Prices”, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, vol. 17, n° 1, pp. 61-85, 1998.
- [33] A. E. Gelfand, S. K. Ghosh, J. R. Knight y F. Sirmans, “Spatio-Temporal Modeling of Residential Sales Data”, *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 16, n° 3, pp. 312-321, Julio 1998.
- [34] F. Sánchez, A. M. Díaz y M. Formisano, “Conflicto, violencia y actividad criminal en Colombia: Un análisis espacial”, *Documento CEDE*, pp. 1-60, 2003.
- [35] M. Formisano, “Econometría Espacial: Características de la violencia homicida en Bogotá.”, *Documentos CEDE*, pp. 1-42, Septiembre 2002.
- [36] E. V. Marsal, “La concentración territorial de las empresas industriales: un estudio sobre la unidad geográfica de análisis mediante técnicas de econometría espacial”, *Documents de treball IED*, pp. 1-26, 2001.
- [37] W. Tobler, “On the First Law of Geography: A Reply”, *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 94, n° 2, pp. 304-310, 2004.
- [38] Alcaldía Municipal de Mosquera, “Sitio Oficial de Mosquera”, 2016. [En línea]. Consultado el 2 de diciembre de 2015, disponible en <http://mosquera-cundinamarca.gov.co/index.shtml#4>
- [39] Centre for Northern Forest Ecosystem Research (Ontario Ministry of Natural Resources), “Patch Analyst For ArcGIS®”, 2012. [En línea]. Consultado el 4 de marzo de 2016, disponible en <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/images/patchanalyst.pdf>







## Leyes de valoración de redes

### Laws of Network Value

Juan MC Larrosa<sup>1</sup>

**Para citar este artículo:** Larrosa, J. (2016). Leyes de valoración de redes. *Revista Redes de Ingeniería*. 7(2), 183-196. Doi: 10.14483/udistrital.jour.redes.2016.2.a07

**Recibido:** 18-diciembre-2015 / **Aprobado:** 27-septiembre-2016

#### Resumen

La valoración de una red social es un tema que ha sido abordado partiendo de enfoques simplificadores. Se han estipulado diversas leyes de valoración, las cuales mayormente son a-teóricas pero han sido usadas para efectivamente estimar el potencial de valor económico de empresas basadas en redes sociales. Esta revisión destaca los distintos aportes utilizados en la literatura reciente sobre leyes de valoración de redes.

**Palabras clave:** ley de Metcalfe, ley de Reed, redes sociales, valoración económica.

#### Abstract

The valuation of a social network is an issue that has been addressed based on simplifying approaches. Various value laws have been stipulated, which are largely atheoretical but have been effectively used to estimate the potential economic value of social network-based firms. This review highlights the various contributions used in the recent literature on networks valuation laws.

**Keywords:** economic value, Metcalfe's law, Reed's law, social networks.

---

1. Licenciado en Economía, Universidad Nacional del Sur, Argentina; magíster en Administración, Universidad Nacional del Sur; magíster en Computación Científica, Universidad Nacional del Sur; doctor en Economía, Universidad Nacional del Sur; profesor Adjunto, Universidad Nacional del Sur; investigador adjunto, Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur. Correo electrónico: jlarrosa@criba.edu.ar

## INTRODUCCIÓN

El estudio de las redes y su influencia en la vida de los agentes económicos tuvo, sin dudas, un fuerte impulso con el auge de la Internet y las subsecuentes redes sociales digitales que sobre dicha infraestructura se asentaron. En ese sentido, la mega red de comunicaciones ha sido la base de enormes empresas basadas en redes sociales que han conectado a la población humana como ninguna línea de comunicaciones previamente en la historia. Desde su propia creación e incipientes inicios de carácter académico hasta el *boom* netamente comercial de la década de los noventa, la literatura académica y técnica intentó vislumbrar y predecir el alcance de sus efectos en la vida económica.

Así, este trabajo revisará aspectos particulares de dicha literatura. En primer lugar, se prestará atención a los primeros intentos de establecer un valor a las redes a través del uso de conjeturas matemáticas; a lo largo de esta revisión la palabra valor será análoga a la adoptada por la literatura y quedará asociada más a su utilidad que al valor económico y financiero estricto. Una red que genera la adhesión de muchos usuarios cobra un valor económico potencial en sí misma por las implicaciones de gestionar un canal de comunicación, difusión e intercambio entre sus integrantes. En este sentido, [1] representan un ejemplo de esta inicial corriente de literatura. La misma quedó plasmada en el libro de [2] en la cual se apuntan diversas conjeturas sobre aspectos de la economía de redes. Una de las primeras fue acuñada por Sarnoff [3], quien acreditaba una expansión lineal en el valor de una red (de televidentes) a medida que se agregaba un usuario adicional. Otra conjetura más moderna es la denominada ley de Metcalfe [4], que es explorada a través de otra revisión de la literatura puntualmente diseñada para verificar en parte de su validez.

La “ley de Metcalfe” es un criterio heurístico para la valuación de redes según advertimos en el párrafo precedente. La ley toma en cuenta la cantidad de usuarios que una red posee, así como la valuación subjetiva de cada individuo por pertenecer a dicha red. Si cada usuario valora positivamente el hecho de que existan otros usuarios conectados a la red, entonces ello redundará en un valor multiplicativo por el número usuarios existentes (exceptuándose en la valoración a sí mismo).<sup>2</sup> Así, puede ser que un usuario representativo asigne un valor a la presencia de otros usuarios hasta los  $n - 1$  usuarios del total de la red. De este modo, si denominamos  $p$  al valor dado por cada usuario para integrar la red,  $n$  al número de usuarios conectados a la misma, la red deberá tener el valor  $V_{red}$  que contemple la relación:

$$V_{red} = pn(n-1) = p(n^2 - n) \quad (1)$$

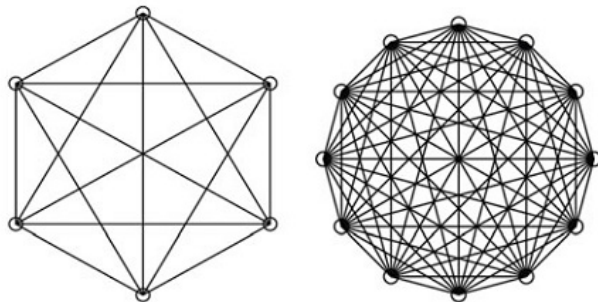
Con lo que quedará establecido que, bajo este criterio, el valor de una red depende en gran medida del cuadrado del número de usuarios conectados a la misma (*ceteris paribus* el valor de asignación  $p$ ). Ahora bien, ¿por qué podría ser valiosa la presencia de otros usuarios? La presencia de dos externalidades en la red ayudaría a la explicación:

- i. el efecto accesibilidad, y
- ii. efecto economías de escala.

En el primer caso, los usuarios valoran las redes más numerosas porque tienen mayor cantidad de puntos de acceso a la misma. En el segundo caso, las redes más numerosas permiten el intercambio de información más diversa y a menor costo que en redes más pequeñas. Ambos se confinan para determinar el efecto o externalidad de red.

2. La primera mención de esta “ley” corresponde a una nota publicada en la revista *Forbes* por el periodista George Gilder [5].

Diversas leyes populares definen el valor de la red en función del número de nodos como  $V(n) = n$  (ley de Sarnoff),  $V(n) = n \log n$  (ley de Metcalfe) o  $V(n) = n^2$  (ley de Odlyzko), las que han mostrado cierta correlación con la evidencia empírica. Independientemente de la forma precisa de la relación, todos están de acuerdo sobre el término "efecto de red" conduce a valoraciones diferenciales en las redes. La Figura 1 muestra dos redes, una que es el doble de tamaño que otra en términos de nodos. Las valoraciones de Sarnoff (coincide con el número de nodos), Metcalfe y Odlyzko se presentan en este primer ejemplo observándose las diferencias de escala entre los mismos.



$n: 6$	$n: 12$
Nodos: 6	Nodos: 12
Enlaces: 15	Enlaces: 66
Valor de Metcalfe = 36	Valor de Metcalfe = 144
Valor de Odlyzko = 10,75	Valor de Odlyzko = 29,82

**Figura 1.** Ejemplo de valoración de redes.

Este ensayo pretende explorar los efectos y el alcance del esquema de Metcalfe para la valoración de redes, así como otras propuestas complementarias realizadas por otros aportes recientes.

## LOS LÍMITES DE LA LEY DE METCALFE

La ley de Metcalfe postula que el valor marginal proporcionado a la red por un usuario a todos los demás usuarios es constante,  $k$ . Siendo esto así,  $n$ -ésimo usuario contribuye un valor para el resto de los usuarios de la red, que es el resultado de su contribución menos la contribución de los otros usuarios, i.e.  $k \times (n - 1) - k \times (n - 2) = k$ . Si ahora calculamos la contribución relativa del usuario

$m$ -ésimo, donde  $m > n$ , encontramos que  $k \times (m - 1) - k \times (m - 2) = k$ . De hecho, la suposición de que todas las conexiones aportan un valor igual a la de la red es altamente discutible, por al menos dos razones [7]: en primer lugar, debido a que el perfil de los usuarios que se conectan a la red y su aportación de valor no necesariamente tiene que ser siempre el mismo y, en segundo lugar, porque en grandes redes, la posibilidad de la interconexión de un usuario adicional no tiene que ser total. En términos matemáticos, el crecimiento de una red desde  $n$  hasta  $n + 1$  usuarios significa un aumento en el número total de posibles conexiones de  $2n$ , el resultado de deducir las posibles conexiones por  $n + 1$ , i.e.  $n \times (n + 1)$ , de las posibles conexiones en el punto inicial de  $n$ , es decir,  $n \times (n - 1)$ . Sin embargo, para un usuario individual, el aumento en el número de posibles conexiones en el movimiento desde una red con un tamaño de  $n$  a una red con un tamaño de  $n + 1$  es 1. Dentro de este contexto, el aumento de una conexión en la red, el tamaño  $n$  es tremendamente importante, porque una conexión adicional a una pequeña red no es el mismo que para un nuevo usuario a una gran red.

Como resultado, el valor añadido a la red depende del punto de tiempo en el que se une el usuario adicional y el tamaño de la red. En este sentido, después de un cierto número de usuarios, las externalidades de congestión pueden aparecer debido a que el valor que un usuario adicional se suma a una gran red puede ser negativo, ya que establece límites a las conexiones existentes.

Por otro lado, la Ley de Metcalfe supone que, cuando se fusionan dos redes, el valor de ambos aumenta en la misma cantidad, independientemente de su tamaño inicial. Supongamos que tenemos dos redes,  $A$  con  $n$  usuarios y con  $m$  usuarios  $B$ , donde  $n > m$ . Con la fusión de las dos redes, cada usuario de  $A$  descubre que su valor aumenta de forma proporcional al número de nuevas conexiones,  $m$ . Por lo tanto, el aumento total en el valor de la red  $A$  se establece en proporción a  $n \times m$ . Siguiendo

la misma línea de razonamiento, el aumento total en el valor de la red  $B$  se establece en proporción a  $m \times n$ . De esta manera, y con independencia de su tamaño,  $A$  y  $B$  aumentarían su valor en la misma proporción. Este resultado, que se encuentra en el corazón del segundo piloto de la Ley de Metcalfe, no explicaría por qué las redes de menor tamaño están dispuestas a pagar para unirse a una red más grande, gracias al aumento relativo en el valor que aporta la fusión.

El esquema de valoración propuesto posee muchos supuestos que, una vez relajados, pueden mostrar otras facetas en la valoración de redes. En ese sentido se pueden anticipar conclusiones respecto a que redes pequeñas, pero más altamente valoradas podrán competir con redes más extendidas y de menor valor. Asimismo, la disminución de valor por dividir a la red en vez de mantenerla grande deja una pérdida por peso muerto de gran costo social. A su vez, la ley de Metcalfe se asienta en el supuesto de valoración lineal interpersonal entre los usuarios. Ello da lugar a algunos resultados poco intuitivos, como el de la paradoja de Varian. Removiendo este supuesto de linealidad se puede llegar a determinar un tamaño de red óptimo. Al final veremos algún aporte que pretende definitivamente *derogar* esta ley.

### El valor subjetivo y variable

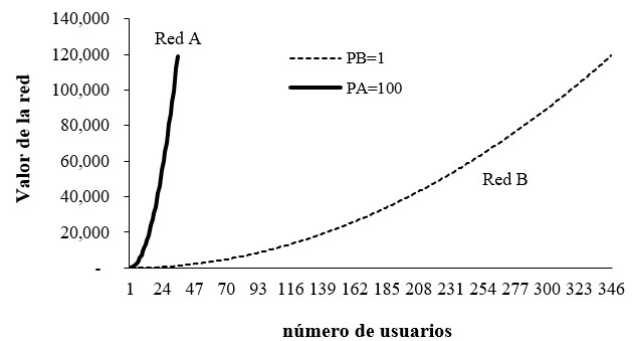
El valor  $p$  asignado a la valoración de la red puede tener diferentes niveles dado que es subjetivo.<sup>3</sup> De este modo, puede ocurrir que exista un valor  $p_i < p_j$  tal que se cumpla que

$$V_{red} = p_i [n_i (n_i - 1)] = p_j [n_j (n_j - 1)] \quad (2)$$

donde  $n_i > n_j$

Estas diferentes valoraciones pueden hacer que usuarios, guiados por sus propias expectativas y preferencias, valoren más pertenecer a una red más cara que pertenecer a una red más numerosa pero menos valorada por ellos mismos. Este brinda alguna explicación a la razón de que exista incentivos por ingresar en clubes de elite (*yacht club* o *golf club*) o actividades de gran prestigio social y diferencialmente caras. Ellos asignan un gran valor  $p$  a pertenecer a estos clubes o asociaciones, por lo tanto, se requiere de menor cantidad de miembros en esta red para que alcance su masa crítica. En el caso de Internet, puede pensarse en los portales con información financiera en tiempo real, los cuales resultan caros para el usuario promedio, pero pueden mantener la masa crítica de su red con el pequeño de usuarios de alto poder adquisitivo.

Un ejemplo numérico ilustra esta situación. Tenemos dos redes:  $A$  y  $B$ . La primera es altamente valorada ( $P_A = 100$ ) mientras que la segunda tiene un valor mucho menor ( $P_B = 1$ ). Sin embargo, ambas llegan a la misma valoración individual de red, pero la red  $A$  solo necesita 35 miembros para ello mientras que la red  $B$  requiere 346 miembros. Ello se ilustra en la Figura 2. Es decir, la valoración de la red debe tener en cuenta el precio subjetivo asignado a la misma.

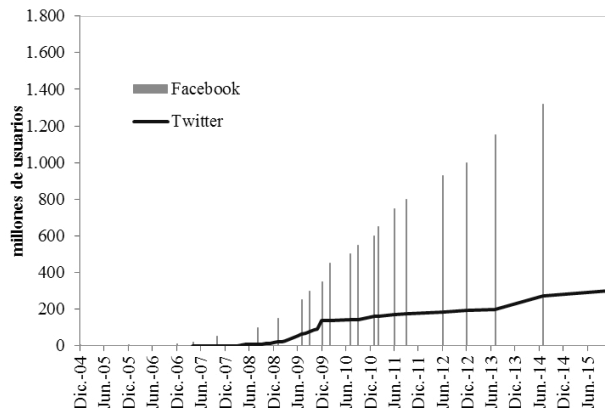


**Figura 2.** Dos redes, un mismo valor y muchos usuarios de diferencia.

3. Así lo definen [4: 184] "... If the value of single user to a network is \$1 for each other user on the network, then a network of size 10 has a total value of roughly \$100".

¿Qué tipo de red es Internet? ¿Es una red cara (tipo A) o una red barata (tipo B)? Las cifras de crecimiento de la red muestran un comportamiento más cercano al de B. Obsérvese el crecimiento exponencial de año en año en el Figura 3. De todos modos, la ley de Metcalfe recae en dos supuestos implícitos:

1. Cada usuario agrega valor a la red (o al menos su contribución es igual a la contribución marginal por usuario).
2. La habilidad para comunicarse entre los usuarios no es afectada por el ingreso de nuevos usuarios (no hay congestión).



**Figura 3.** Cantidad de usuarios registrados en Facebook y Twitter

¿Son estos supuestos lo suficientemente sólidos en la realidad? A continuación se repasarán algunas cuestiones críticas de este enfoque.

### ¿Más usuarios, más información?

Una pregunta relevante es si el valor adicional de cada usuario que se agrega es lineal. [5] estudia el esquema de Metcalfe pero enfocan el caso específico de las visitas a los portales de Internet. Es decir, si los usuarios ingresan a la red para requerir información y lo que se valora es ello, es improbable que cada nuevo ingreso de usuario agregue información adicional a la red. Por el contrario, muy

probablemente exista información redundante. Es decir, los nuevos usuarios utilizarán los recursos, pero no aportarán nueva información, con lo que se afectaría el efecto economías de escala. Pero también afectaría el efecto de acceso. Ello porque aparecen problemas de congestión según sea mayor cantidad de usuarios los que entre a la red. A mayor congestión, menor comunicación e intercambio de información. Tomando en cuenta este parámetro, entonces, la ley de Metcalfe se desvirtúa. Llegado a cierto número umbral de usuarios, lo que aporta cada nuevo usuario conectado es negativo.

### ASCENSO Y CAÍDA

Las descripciones con abundante evidencia empírica y la fiebre del crecimiento de la Internet han sido destacadas desde sus inicios [7]. Entre las conclusiones más interesantes observadas en esos momentos iniciales del *boom* de Internet se puede resumir que las proyecciones de entrada de nuevos usuarios junto a las necesidades de ancho de banda necesarias para nuevas tecnologías (voz e imagen sobre Internet, por ejemplo) comparados con el crecimiento esperado de la infraestructura hacen prever un probable colapso de la red hacia 2004. Como todo en la Internet, si aumenta lo hace en forma exponencial y si baja lo hace también en forma exponencial. Entonces, los nuevos usuarios ¿harán más valiosa a la Internet?

Algunos autores tan tempranamente [8] ya planteaban problemas respecto a actitudes comerciales de ciertos portales que hacían disminuir el valor de la red. Por ejemplo, *America Online* (AOL) que no permitía usar servicios propios (como *AOL Instant Messenger*) a grandes empresas comerciales de la red, como *Microsoft* o *Yahoo*. Otro ejemplo más llamativo lo daba *Universal Studios* que combatía a quienes querían ligar (establecer un link) sus páginas comerciales y personales con los portales de películas de reciente estreno. Es decir, la misma conducta de las empresas dificulta la accesibilidad

total a toda la red. Ahora, ¿qué pasa si estas conductas comerciales se llevan a un extremo? Es decir, si se subdivide una red muy grande en pequeñas redes aisladas. Nielsen propone que si se parte una red muy grande en  $N$  componentes desconectados, considerando  $p = 1$ , entonces el valor de esa subred será (siguiendo con la ley de Metcalfe) de

$$V_{subred} = \frac{1}{N \cdot (N - 1)} = \frac{1}{N^2 - N} \quad (3)$$

Existiendo  $N$  subredes en la partición, nos queda

$$V_{N \text{ subredes}} = \frac{N}{N^2 - N} = \frac{1}{N - 1} \quad (4)$$

Es decir, se pierde casi la inversa del valor de la red original al dividirla en  $N$  subredes más pequeñas. Aquí claramente se observa que cuando crece la red, los efectos de retroalimentación impulsan en forma cuadrática su valoración, pero la partición de la misma la afecta en tantas veces estas se haya fraccionado. Es decir, de una red que vale  $n^2$  nos quedamos una suma de redes que en total valen  $1/n$ . Nótese que de aquí se puede derivar el valor de la externalidad de red como la diferencia del valor de una red enteramente conectada con el valor de todas las subredes aisladas:

$$V_{ext} = n^2 - \frac{1}{n} \quad (5)$$

Lo cual representa la diferencia entre una función cuadrática creciente y una curva exponencial decreciente de orden 1. El diferencial es una cuadrática más suave que el primer exponente de la ecuación como se observa en la Figura 4, lo que nos habla nuevamente de los factores de retroalimentación positiva vigentes en las economías de red. Si se divide la red, el valor de la externalidad puede considerarse una pérdida por peso muerto (nadie se apropia de ella).

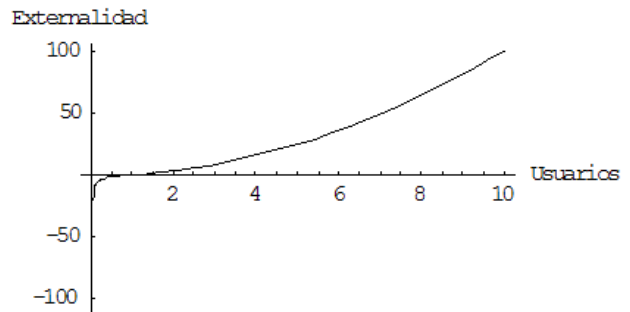


Figura 4. Valor de la externalidad según aumenta el número de usuarios.

## ESTRATEGIAS DE INTERCONEXIÓN Y LA PARADOJA DE VARIAN

Una paradoja se plantea cuando las redes se desconectan. [10] plantea otra estrategia de valoración de redes. Utilizando el esquema de Metcalfe, describe una estrategia que puede llevar a crear subredes, pero solo temporalmente. Como ya se mencionó, el valor de las redes crece por la presencia de externalidades de red, es decir que el valor de un bien crece a medida que existen más usuarios del mismo. Para ello, en el caso de las redes de intercomunicación, se requiere que exista una interconexión abierta para las mismas. Es decir, que sea relativamente fácil para los usuarios acceder a los servicios de la red. A medida que más se interconecten, mayor valor tendrá esta infraestructura.

Ahora bien, también habrá mayores incentivos para quienes deseen dividir sus redes para luego venderlas individualmente a un precio mayor. Si en el periodo  $t$  la red vale  $n$  y en  $t+1$  vale  $n^2$ , yo puedo mantener dividida mi red en  $t$  y luego venderla al precio mayor en  $t+1$  (una especie de arbitraje). Como describe Varian, si la torta crece todos tendrán mayores beneficios, pero también serán más valiosas las amenazas de falta de conectividad. Aquí entra en juego el comportamiento estratégico de los agentes. Una comparación

de los beneficios de esta estrategia puede verse a continuación. Supongamos que tenemos dos redes  $A$  y  $B$  valoradas por la ley de Metcalfe, tal como se presentó en el punto 2.1. Supongamos también que ahora existe un precio uniforme  $p_A = p_B = 1$  y la red  $B > \text{red } A$ . Si ambas desean interconectarse ¿cómo cambiará el valor de las mismas? Algebraicamente sería:

$$\begin{aligned}\Delta V_A &= n_1 \cdot (n_1 + n_2) - n_1^2 = n_1^2 + n_1 n_2 - n_1^2 = n_1 n_2 \\ \Delta V_B &= n_2 \cdot (n_1 + n_2) - n_2^2 = n_2^2 + n_1 n_2 - n_2^2 = n_1 n_2\end{aligned}\quad (6)$$

Es decir, la interconexión voluntaria lleva a que ambas redes obtengan el mismo beneficio. Pero la red  $B$  era mucho más grande que la red  $A$ . En ese sentido, los usuarios de la red  $A$  debieron ganar mucho más de la interconexión que los de la  $B$ , quienes solo agregaron unos pocos usuarios a su ya numerosa red. Ello muestra, por un lado, por qué son comunes los acuerdos de interconexión gratuitos dentro de la red pero deja algún punto de duda, por la contrariedad de la deducción, tema que se aclarará en la siguiente sección. De todos modos, ambos ganan bajo este acuerdo y las ganancias son repartidas igualitariamente dentro de redes de tamaño diferente. Resulta una paradoja que *todos* quieran acuerdos de conexión gratuita, pero quienes más ganen, en realidad, serán los usuarios de redes más pequeñas.

Se puede enfrentar esta paradoja con el ejemplo de una compra de red, en vez de una interconexión gratuita. Supongamos que la red  $A$  compra por su valor individual a la red  $B$ , en vez de fijar un acuerdo de interconexión libre. Entonces, algebraicamente quedaría:

$$\Delta V_{A+B} = (n_1 + n_2)^2 - n_1^2 - n_2^2 = 2n_1 n_2 \quad (7)$$

Es decir, comprando la red  $A$  obtendría el doble de valor que acordando un acuerdo de interconexión gratuita. Es por ello que se hace valiosa la amenaza de interconexión. Ello provoca que la red más

pequeña deba ser comprada o fusionada con la más grande, lo que redundaría en mayores beneficios para esta. Según sea más grande el poder de negociación de la red, mayor será la amenaza de no conectividad.

### Sobre el valor decreciente

Una manera muy simple de refutar el modelo de Varian anteriormente expuesto es el de variar algunos supuestos iniciales. Suponer la vigencia de la ley de Metcalfe implica suponer que el valor que uno le da a la otra gente en la red se puede modelar como una función lineal. Es decir, si yo entro en un chat determinado, yo valoro a cada uno de los que están en dicho salón en este momento y todos valoran del mismo modo mi asistencia y la presencia de los otros. Sin embargo, está claro que todos no podemos ponernos a charlar con todos; la falta de entendimiento ante dicho evento quedaría más allá de la capacidad de retención y procesamiento de nuestro cerebro. Ello provocaría pérdidas de utilidad. Entonces, al parecer, no valoramos la presencia de otros asignando valores iguales (linealmente).

Cuando consideramos valoraciones lineales ocurre la paradoja descrita por Varian en el punto anterior. Es decir, la adquisición de una red más pequeña por una más grande da la misma ganancia a ambos, cuando en realidad la más beneficiada ha sido la red pequeña. Pongamos un ejemplo numérico: la red  $A$  tiene 36 usuarios y la red  $B$  tiene 64 usuarios. La valoración individual por la ley de Metcalfe siendo  $p_0 = p_1 = 1$ , sería:

$$\begin{aligned}V_{\text{Red } B} &= 36 \times (36-1) = 1.260 \\ V_{\text{Red } A} &= 64 \times (64-1) = 4.032\end{aligned}$$

Uniando ambas redes y por (7) obtenemos que las redes  $A$  y  $B$  dentro de la nueva red  $(A+B)$  valdrían:

$$\begin{aligned}V_B^{A+B} &= 36 \times (100-1) = 3.564 \\ V_A^{A+B} &= 64 \times (100-1) = 6.336\end{aligned}$$

Obsérvese que ambas ganaron por su ingreso lo mismo dado que

$$V_B^{A+B} - V_{\text{Red B}} = V_B^{A+B} - V_{\text{Red B}} = 3.564 - 1.260 = 6.336 - 4.032 = 2.304$$

Es decir, no importa el tamaño de tu red, ambas ganarán lo mismo por la fusión. Sin embargo, la red A creció en valor más de un 180% con respecto al original mientras que la red B solo lo hizo en casi un 60%. Nuevamente, y como era de esperar, volvemos a la paradoja de Varian. Ahora podemos cambiar los supuestos para realizar un ejemplo más intuitivo. Se propone romper con el esquema de valoración lineal y se sugiere algún esquema con rendimientos decrecientes, por ejemplo, una función logística. Para simplificar, supongamos que los usuarios de una red valoran a la raíz cuadrada del número de usuarios de la red. Rescribamos los ejemplos anteriores:

$$\begin{aligned} V_{\text{Red B}} &= (\sqrt{36} - 1) \\ V_{\text{Red A}} &= 36 \times (\sqrt{64} - 1) = 180 \\ &= 64 \times (\sqrt{64} - 1) = 448 \end{aligned}$$

Uniendo nuevamente ambas redes y por (7) obtenemos que las redes A y B dentro de la nueva red (A + B) valdrían

$$\begin{aligned} V_B^{A+B} &= 36 \times (\sqrt{100} - 1) = 324 \\ V_A^{A+B} &= 64 \times (\sqrt{100} - 1) = 576 \end{aligned}$$

Obsérvese que ahora las ganancias son diferentes dado que:

$$\begin{aligned} V_B^{A+B} - V_{\text{Red B}} &= 324 - 180 = 144 \\ V_A^{A+B} - V_{\text{Red B}} &= 576 - 448 = 128 \end{aligned}$$

Este resultado se ajusta más a la intuición. Ahora quien gana más por la interconexión es la red pequeña A. Entonces, a partir de esta pequeña evidencia, se podría reformar la ley de Metcalfe teniendo en cuenta esta relación decreciente de valoración por los nuevos ingresantes a la red. Asimismo, esta convexidad agregada al modelo permitiría deducir un tamaño de red finito.

## TAMAÑO DE RED ÓPTIMO

Esta sección se focaliza en el valor añadido por ser miembro de una red. Se toman en cuenta distintos costos de congestión que pueden aparecer. Proponemos plantear el modelo básico de valoración de Metcalfe del siguiente modo. Considere la red  $i$  con  $n_i$  usuarios y definamos  $A_i$  como el grado de monetización que se ha obtenido por el desarrollo de la red. Esto difiere del valor  $p$  analizado en el punto 2.1. Allí,  $p$  refiere a un valor que un usuario le asigna a la presencia de otros mientras que aquí,  $A_i$  representa cuanto están dispuestos a pagar otros agentes por cada usuario que se posee en la red. Suponiendo costo fijo  $C_i$  para la red y aceptando como una simplificación en el álgebra, lo que no quita validez a los resultados finales, que solo consideremos al cuadrado de los usuarios ( $n_i \times n_i$ ), entonces habría que maximizar la función (8) para averiguar qué tamaño de red sería el óptimo:

$$\text{Máx}_{n_i} V_i = A_i (n_i \times n_i) - C \quad (8)$$

La cual da un máximo que depende positivamente del tamaño de la red. A mayor cantidad de agentes siempre habrá mayor valor. Ello no representa un resultado que pueda decir mucho acerca del tamaño óptimo de la red. En un mundo de rendimientos crecientes no hay límite superior.

Ahora, supongamos que los usuarios valoran decrecientemente la presencia de nuevos ingresantes a la red. Es decir, los costos son crecientes según aumenta el número de usuarios. Entonces sumamos el componente de costo variable  $B_i$  y la función quedaría así:

$$V_i = A_i n_i^2 - C_i - B_i n_i^3 \quad (9)$$

ahora veremos cómo ello afecta al tamaño de la red. Derivando (9) con respecto a  $n_i$  nos queda:

$$\frac{\partial V_i}{\partial n_i} = \frac{\partial (A_i n_i^2 - C_i - B_i n_i^3)}{\partial n_i} = 2A_i n_i - 3B_i n_i^2 = 0 \quad (10)$$



$$\{n_i = 0\}, \left\{ n_i = \frac{2A_i}{3B_i} \right\}$$

Aquí el tamaño de la red sería cero (dado que nadie va a empezar una red siendo que cuesta más de que lo que gana) o dependería directamente del doble del grado de monetización de la red e inversamente del triple del costo fijo de cada nuevo usuario ingresando a la red. Supongamos que  $A_i = 1$ , es decir que logramos hacer valer a cada usuario conectado a la red, y  $B_i = 0.0125$ , es decir que cada nuevo usuario nos cuesta 1,25 centavos, el tamaño óptimo de esa red sería de 53 individuos aproximadamente. En realidad, debiera contemplarse a  $B_i$  como una función fractal, con valores cercanos a cero cuando la red no encuentre congestión y saltos a valores positivos altos cuando el número de usuarios de la red fuese tan grande que la congestión empeorara las posibilidades de conexión de todos (que es en ese punto en donde empezaría la región de desutilidad por el ingreso de nuevos usuarios). Muy rudimentariamente y sin mayores *fundamentals* se plantea este primer ejemplo de un tamaño óptimo de red. Veamos una explicación para llenar más claramente de información este resultado tan simple.

[5] sugieren el siguiente esquema. Supongamos que los usuarios pueden ser diferenciados a lo largo de un simple eje  $0 \leq \vartheta \leq 1$  y que la densidad de cada tipo de usuario está dada por  $f(\vartheta, t)$ . Supóngase también que la Web entre los usuarios está representada por la función de densidad  $f(\vartheta, t)$  dado que el usuario de tipo  $\vartheta$  va a empezar a usar la Web en el periodo  $t$ . Entonces la curva condicional de difusión, que describe la cantidad de usuarios del tipo  $\vartheta$  que han empezado a usar la Web en o previo al periodo  $t^*$ , está dada por:

$$F(\vartheta, t) = \int_{-\infty}^{t^*} f(\vartheta, t) dt \quad (1)$$

mientras que la curva de difusión agregada, que describe el número total de individuos que han adoptado la red en o antes de  $t^*$  está dado por:

$$N(t^*) = \int_{-\infty}^{t^*} \int_0^1 m(\vartheta) f(\vartheta, t) d\vartheta dt \quad (12)$$

Como se sugirió previamente, es muy improbable un usuario visite todas las páginas entonces el supuesto (1) de la sección 2.1 de la ley de Metcalfe no se verificará. Por ello se expresa una nueva función  $g(\theta, \vartheta)$  la cual describe la probabilidad que un usuario del tipo  $\theta$  vaya a tener de examinar una página de un usuario de tipo  $\vartheta$ . Suponiendo que la utilidad total para un usuario de tipo  $\theta$  es proporcional al número de páginas que ella visita, la utilidad en el momento  $t^*$  va a ser:

$$u(\theta, t^*) = \int_{-\infty}^{t^*} \int_0^1 m(\vartheta) g(\theta, \vartheta) f(\vartheta, t) d\vartheta dt \quad (13)$$

Observando las ecuaciones (12) y (13) vemos que en general  $u(\theta, t^*)/N(t^*)$  no es independiente de  $t^*$ . El tamaño de la red afecta la utilidad de cada usuario. Buscando una forma funcional de la utilidad que verifique que un usuario visite todas las páginas de Internet de otro tipo de usuario, Swann (1998) encuentra que la función de utilidad de un usuario debiera tener una forma de  $S$  del tamaño total de la red, es decir, debiera ser de tipo logística. Supongamos que:

$$F(\vartheta, t) = \frac{e^{\vartheta+t^*}}{1 + e^{\vartheta+t^*}} \quad (14)$$

donde al mismo tiempo se verifica que  $g(\vartheta, \theta)$  declina exponencialmente con el cuadrado de la diferencia entre  $\vartheta$  y  $\theta$ .

$$g(\vartheta, \theta) = g_0 e^{-(\theta-\vartheta)^2} \quad (15)$$

donde  $g_0$  representa la probabilidad que de algún usuario quiera consultar la página de algún usuario que es idéntico a él.

Si bien las expresiones de  $u$  no pueden ser integradas explícitamente cuando  $F(\cdot)$  y  $g(\cdot)$  toman esos valores particulares si se puede aproximar una solución numérica. La Figura 5 determina la relación entre  $0 \leq \theta \leq 1$  para tres valores de  $\theta$ : 1, 0.5 y 0.

Dado que  $0 \leq \theta \leq 1$ , estos valores representan entonces al usuario pionero, al adoptante mediano y al adoptante rezagado.

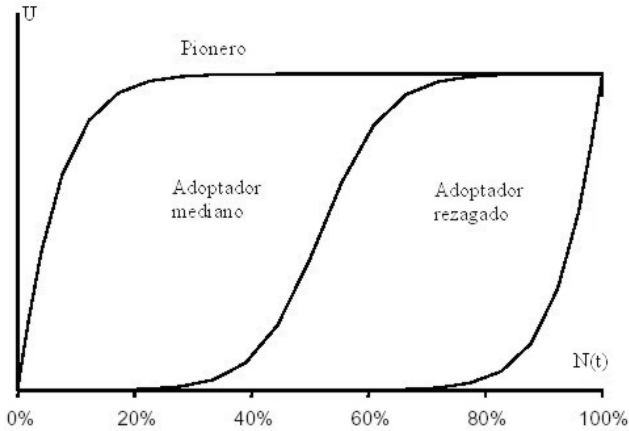


Figura 5. Extensión de la red y utilidad.

El adoptante mediano tiene una función de utilidad con forma de S. Cuando la red es chica, solo contiene miembros de la clase “pionera” (con alto  $\theta$ ) por lo que los usuarios medianos no les resulta tan interesante ingresar en ella. Cuando algunos adoptadores medianos empiezan a utilizar los servicios de esta red la utilidad se dispara hasta que el número de ingresantes ya es muy alto. Aquí entran los adoptadores rezagados quienes por una mayor aversión al riesgo solo se asocian a la red cuando casi todos lo han hecho. Con estos nuevos miembros los usuarios medianos no incrementan en mucho su utilidad.

Supongamos ahora que existen costos de congestión. Ahora maximizaremos el beneficio de usar la Web,  $J$ , sujeto a un costo en relación directa con la cantidad de usuarios.

$$J(\theta, N) = u(\theta, N) - C(N) \quad (16)$$

donde  $u(.)$  describe la función de utilidad (medida en dinero) mientras que  $C(.)$  describe como el costo de usar la red varía a medida que ingresan nuevos usuarios. Hay dos tipos principales de costos de congestión que se pueden analizar. El primer costo

está asociado al refinamiento en la búsqueda la información precisa que se busca. Los usuarios deben tantear muchas páginas de la red para encontrar la información precisa que desean. Tres costos, a su vez, componen este costo:

- A medida que hay más adoptadores de la Web, más que proporcionalmente se incrementa el número de sitios de red a visitar, dado que cada sitio se compone de mayor cantidad de páginas a su vez. Por ello, se supone que hay un coeficiente promedio de páginas nuevas que ingresan a la Web en razón del número de usuarios:  $\omega N$ .
- A medida que crece la red también crecen los cruces entre enlaces de cada página con lo que un buscador debe incrementar más las búsquedas dentro de cada sitio de la red. Ahora, un costo adicional aparece en forma de  $\varpi N$ .
- El uso de palabras clave dentro de los encabezados de las páginas web se hace cada vez más complejo dado que cada página si quiere ser encontrada debe describir con mayor precisión qué ofrece. Sin embargo, muchas páginas obtendrán la misma palabra clave. A medida que la red crece, crece también la solicitud de las páginas con palabras claves populares (congestión). Esto también supondremos es un costo adicional del tipo  $\varpi N$ .

Supongamos que existe una tecnología determinada que ayude a la búsqueda de información en Internet. Esa tecnología, medida en porcentaje de éxito en búsqueda de un sitio preciso por parte del usuario, la definiremos como  $S$ . Entonces la búsqueda de información en Internet será determinada por

$$C_s(N) = C_1 \frac{\omega \varpi N^3}{S} \quad (17)$$

donde  $C_1$  es el costo por unidad de tiempo invertido en la búsqueda.

Otro costo es el costo de descargar (*download*) información desde la red, la cual se puede tornar

en prolongado cuando la red esta congestionada. Primero distingamos dos situaciones de la red. La  $N^{sat}$  es la situación de saturación de la red, es decir, el congestionamiento es tan alto que no se puede acceder a ningún sitio.<sup>4</sup> La curva de carga de la red entonces determina al costo de retraso y tiene la siguiente forma:

$$C_R(N) = C_2(N^{sat} - N)^{-k} \quad (18)$$

siendo  $k \geq 1$  una constante. A medida que  $N$  tiende a  $N^{sat}$  la red "se cuelga" y no brinda más información a nadie.

Ahora reformulamos (16) de modo que

$$J(\theta, N) = u(\theta, N) - C_S(N) - C_R(N)$$

$$J(\theta, N) = u(\theta, N) - C_1 \frac{\omega \sigma \varpi N^3}{S} - \frac{C_2}{(N^{sat} - N)^k} \quad (19)$$

La mejor manera de obtener información de esta ecuación es a través de ejercicios numéricos. Así, para facilitar el tratamiento, empecemos por determinar un costo predominante. Supongamos que la red se mantiene estable en tamaño y debemos trabajar con los costos de búsqueda como principal problema. Allí nos conviene mejorar la tecnología de búsqueda que es la herramienta a mano que tenemos en este modelo. Graficando esta función en términos de la variar el valor del parámetro tecnológico  $S$  veremos tal vez el gráfico más interesante. En la Figura 6 vemos como el incremento del  $S$  (la tecnología de búsqueda de información en Internet) beneficia a los usuarios a pesar de que crezca el tamaño de la red. En ese sentido opera, por ejemplo, la creciente eficiencia de los sitios de búsqueda de información como Google.

Supongamos ahora que el otro costo es el dominante. Si el costo de retraso se hace dominante (se

mantiene constante la tecnología de búsqueda) nos puede quedar un gráfico como el de la Figura 7. A medida que exista inversión en infraestructura de red que sostenga niveles de saturación cada vez mayores en la red, habrá una utilidad mayor asociada a ello.

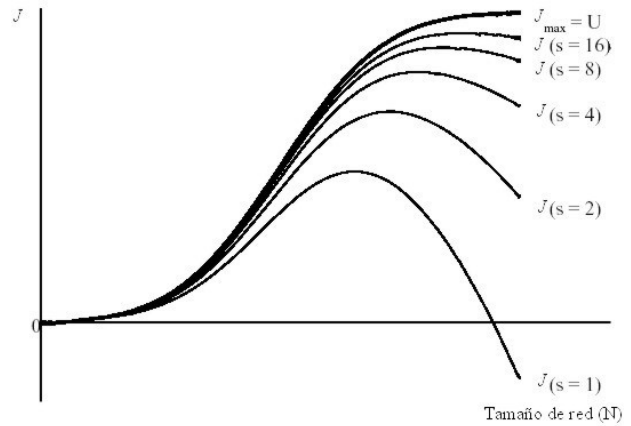


Figura 6. Tecnología de buscador y tamaño de red.

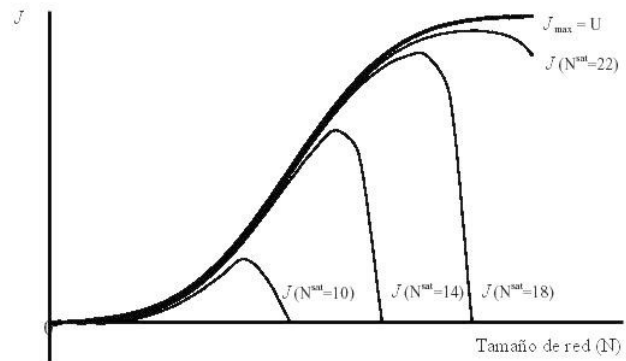


Figura 7. Crecimiento del nivel de saturación de la red y tamaño de red.

### Funciones decrecientes y explosivas

Finalmente, [11] inician, según ellos, el proceso de derogación de la ley de Metcalfe. Efectivamente analizan la ley de Metcalfe y otras pseudo-leyes de valoración de redes como las de Sarnoff y Reed,

4. El 11 de septiembre de 2001 varios sitios de Internet entraron precisamente en este estado (<http://CNN.com> especialmente).

atacándolas en su supuesto de valoración equiproporcional para todos los agentes que ingresan. Citando gran parte de los ejemplos de esta sección más otros establecen que la mejor forma funcional que relaciona el valor de una red y la cantidad de sus miembros es el logaritmo basados en la ley de Zipf.

La ley de Zipf es una ley empírica propuesta originalmente para la distribución de palabras en un texto grande y afirma que, dado algún corpus de enunciados del lenguaje natural, la frecuencia de cualquier palabra es inversamente proporcional a su posición en la tabla de frecuencias. La palabra más frecuente se reproducirá aproximadamente el doble en términos de frecuencia respecto a la segunda palabra más frecuente, que ocurre dos veces tan a menudo como la cuarta palabra más frecuente y así. En el contexto de la red, si el valor del elemento más importante para el usuario  $A$  se toma como proporcional a 1; la del segundo miembro más importante es proporcional a  $1/2$ , y así sucesivamente. Para una red que tiene  $n$  miembros, este valor para el usuario  $A$  será proporcional a  $1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/(n-1)$ , el cual se aproxima a  $\log n$ . Teniendo en cuenta que el número de usuarios es  $n$ , el valor total de la red es proporcional a  $n \log n$ .

Es decir, que (1) debiera ser en realidad:

$$V_{red} = pn \log(n-1) \quad (20)$$

Las justificaciones surgen desde paralelismos con muchas otras leyes observadas en diferentes campos de las Ciencias (la mencionada ley de Zipf, la ley de Bradford, entre tantas otras reglas heurísticas para determinar un valor atóxico a algún bien) referidas a procesos de difusión. Las consideraciones más puntuales acerca de la mejor aproximación de esta forma funcional recaen, nuevamente, en la paradoja de Varian y las fusiones de redes. Al igual que el ejemplo expuesto anteriormente, los usuarios de una red grande poco ganan por fusionarse con los de una red más pequeña.

Otra ley mencionada de valoración de redes es la ley de Reed [12] que reconoce el valor de los grupos dentro de una red, no solo los pares conectados, por lo que un grupo de cuatro personas podría además de formar parejas, también grupos de tres o incluso el superconjunto de las cuatro personas. La adición en los cuatro grupos de tres, más la totalidad del grupo de cuatro, hace que todos los conjuntos sean iguales a  $2^N - n - 1$ , lo que se aproxima como proporcional a  $2^N$ .

$$V_{red} = 2^n - n - 1 \quad (21)$$

Esta forma de valuación de redes, que aprecia enormemente la participación en grupos o cluster de usuarios, es todavía más incremental que el de Metcalfe. La ley de Reed representa entonces el caso más extremo en la valoración de las interconexiones en una red.

Finalmente, contribuciones recientes como [13] destacan el valor de la exclusión de pertenecer a una red. En ese sentido, la exclusión es medida como la diferencia entre el valor de la ley de Metcalfe comparado con el grado de conectividad actualmente observado. Esa diferencia implica una pérdida de bienestar de quienes no están conectados pudiéndolo estar.

## CONCLUSIONES

La valoración de redes de interconexión resulta un tema siempre actual [14]. El esfuerzo inicial de Metcalfe es completamente válido en tanto la red posea ciertas dimensiones y respete supuestos limitados. Una vez que esta crece deben considerarse restricciones a la utilidad de los ya conectados por el ingreso de nuevos adherentes. En general los procesos lineales no explican bien el comportamiento de estructuras sujetas a externalidades de redes. Sin embargo, la explosividad de crecimiento de un exponencial segundo también puede exceder la explicación real de un evento. Las variables crecen o decrecen exponencialmente. Las pérdidas por no

dejar expandir la interconexión a la red son pérdidas sociales que deben tenerse en cuenta. Asimismo, la desutilidad provocada por la excesiva expansión de una red en relación con la calidad del servicio (congestión) hace disminuir el valor de la red para los usuarios [15]. Entonces, un criterio de determinación del tamaño óptimo de red debiera considerar tanto la valoración por los nuevos ingresantes como los costos que ello genera a los demás usuarios. Cuando ello se considera, un modelo de expansión de la red si permite mantener la ley de Metcalfe a través del mejoramiento de la tecnología algorítmica para la búsqueda de información y de la inversión en infraestructura que sostenga la entrada creciente de nuevos usuarios. Esta es una de las tantas razones por la que Internet no ha colapsado todavía y dista de preverse un futuro así.

Aún más, estas valoraciones carecen en general de una profunda raíz justificación teórica por lo que modelos de valuación económica de empresas debieran ser utilizados para un análisis más técnico de las redes. En cualquier caso, han sido utilizadas como una primera aproximación al valor que una red debiera tener, aunque sea como hipótesis de máxima.

Finalmente, aportes muy recientes empiezan a refutar el supuesto de igual valoración de todos los agentes incluidos en una red con abundante evidencia. Así, si dicha valoración toma una forma logarítmica entonces muchas observaciones de la realidad con respecto al hecho que muchos ISP grandes no desean conectarse con redes más pequeñas quedan justificadas y la ley de Metcalfe en su definición inicial queda desacreditada. Ello no deja de ser un primer intento para entender todo el proceso complejo de valorar las redes sociales y, sobre todo, las empresas que tienen como modelo negocios operar sobre estas (como Facebook o Twitter).

## REFERENCIAS

- [1] P. Key y D. R. McAuley, "Differential Quality of Service and Pricing in Networks: where flow-control meets game theory". *Institute of Electrical Engineering Proceedings Software* 146, No. 2, 1999.
- [2] C. Shapiro y H. Varian, *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy*, Cambridge: Harvard Business Press, 1999.
- [3] E. Pirić, M. Bajrić and H. Bajrić, "Laws of network's values and values of its users". 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, pp. 1481-1485, 2015.
- [4] R. Metcalfe, "Metcalfe's Law". *InfoWorld*, October 2, 1995, [En línea] Disponible en: <http://www.infoworld.com>
- [5] G. Gilder, "Metcalfe's Law and Legacy". *Forbes ASAP*, Sept. 13, 1993.
- [6] B. Briscoe, A. Odlyzko and B. Tilly, "Metcalfe's Law is Wrong". *IEEE Spectrum*, July 2006, pp. 26-31 [En línea] Disponible en: <http://www.spectrum.ieee.org/jul06/4109>
- [7] P. Windrum y G.M.P. Swann, "Networks, Noise, and Web Navigation: Sustaining Metcalfe's Law through Technological Innovation". MERIT Working Paper 2/99-009, 1999.
- [8] K.G. Coffmann y A. Odlyzko, "The Size and Growth Rate of Internet". *First Monday Issue 3* (10), [En línea] Disponible en: [http://www.firstmonday.dk/issues/issue3\\_10/coffman/](http://www.firstmonday.dk/issues/issue3_10/coffman/)
- [9] J. Nielsen, "Metcalfe's Law in Reverse". *Alertbox*, July 25, 1999, [En línea] Disponible en: <http://www.nngroup.com/articles/metcalfes-law-in-reverse/>
- [10] H. Varian, "Market Structure in the Network Age". Publicado en *Understanding the Digital Economy Conference*, Department of Commerce, MIT Press: Cambridge, MA, pp. 137-150, 1999.
- [11] A.M. Odlyzko y B. Tilly, "A refutation of Metcalfe's Law and a better estimate for the value of networks and network interconnections". Manuscrito. University of Minnesota, 2005, [En línea] Disponible en: <http://www.dtc.umn.edu/~odlyzko/doc/metcalfe.pdf>

- [12] Reed, D.P., "The Law of the Pack". *Harvard Business Review* (February), pp. 23–24, 2001.
- [13] R. Tongia y E.J. Wilson, "The Flip Side of Metcalfe's Law: Multiple and Growing Costs of Network Exclusion". *International Journal of Communications* 5, pp. 665-681, 2011. [En línea] Disponible en: <http://ijoc.org/index.php/ijoc/article/view/873/549>
- [14] J. Weinmann, "Is Metcalfe's Law Way Too Optimistic?". *Business Communications Review* 37 (8), pp. 18-27, 2007.
- [15] J.C. Franklin, M. Manelli and R. Pay "Measuring the value of online communities". *Journal of Business Strategy* 35(1): 29-42, 2014.

