



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**
FACULTAD DE INGENIERÍA

Revista Ingeniería

Volumen 19 • Número 1 • Año 2014 • ISSN 0121-750X E-ISSN 2344-8393

REVISTA CIENTÍFICA SEMESTRAL

2014

Revista Ingeniería

Volumen 19 • Número 1 • Año 2014 • ISSN 0121-750X • E-ISSN 2344-8393

REVISTA CIENTÍFICA SEMESTRAL

Publicación admitida en el Índice Nacional de Publicaciones Seriaditas Científicas y Tecnológicas de Colciencias



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera 7 No. 40-53 Piso 4 Bogotá, Colombia

Teléfono: + 57 (1) 323 93 00 ext. 2413

Correo electrónico: revista_ing@udistrital.edu.co

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving>

EDITOR

Sergio A. Rojas, PhD.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

COMITÉ EDITORIAL

Jose Marcio Luna, PhD.

University of New Mexico

Cristina Gonzalez, PhD.

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Jose Luis Villa, PhD.

Universidad Tecnológica de Bolívar

Victor Hugo Grisales, PhD.

Universidad Nacional de Colombia

Henry Diosa, PhD.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Marco Alzate, PhD.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Juan Carlos Figueroa, MSc.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

COMITÉ CIENTÍFICO

Germán Méndez, PhD.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Edwin Rivas, PhD.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Luz Esperanza Bohórquez, Msc.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Rodrigo Herrera, Msc.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Ana María Peña, PhD.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

GESTORA EDITORIAL

Carolina Suárez Roldán, Ing.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

DIRECTIVAS

Roberto Vergara Portela

Rector (E)

Borys Rafael Bustamante Bohórquez

Vicerrector Académica

Giovanny Mauricio Tarazona Bermudez

Decano Facultad Ingeniería

PREPARACIÓN EDITORIAL

EDITORIAL UD

Dirección

Rubén Carvajalino

Corrección de estilo

José Luis Guevara

Coordinación editorial

Maria Elvira Mejía

Diagramación y carátula

Guillermo Peñalosa Martínez

IMPRESIÓN:

ÁRBITROS EN ESTA EDICIÓN

Andres Mauricio Hualpa Z., MSc. (c)

Universidad Cooperativa de Colombia

Andrea González Sandoval, MSc.

Universidad Cooperativa de Colombia

Carlos Celemin, PhD.(c)

Universidad de Chile

Édgar Gutiérrez Franco, MSc.

Universidad de la Sabana

Luis Gabriel Marin, PhD.(c)

Universidad de Chile

Adriana Rocio Lizcano D., MSc.

Universidad de Santander

Javier Orjuela, MSc.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Victor Hugo Menéndez D., PhD.

Universidad Autónoma de Yucatán

Santiago Arango, PhD.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

POSTURA EDITORIAL Y AUDIENCIA

Su principal objetivo es difundir y debatir avances en investigación y desarrollo en las diferentes áreas de la ingeniería, con artículos de contenido original e inédito. La revista está dirigida a investigadores, especialistas, docentes, estudiantes de pregrado y posgrado, ingenieros en ejercicio y al sector empresarial.

PERMISO DE REPRODUCCIÓN

Los textos de los artículos incluidos en esta edición pueden ser utilizado y reproducidos con fines sin ánimo de lucro y dando crédito a los autores.



Este trabajo está bajo una Licencia de Creative Commons Reconocimiento – No comercial – Sin Obra Derivada 3.0 Unported

SUSCRIPCIÓN

Cra. 7 No. 40-53 Piso 4 Decanatura Facultad de Ingeniería

Teléfono: + 57 (1) 3239300 ext. 2413

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/user/register>

INDIZADA EN



Ni la Revista INGENIERÍA, Editor, Comité Editorial, Comité Científico, Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital F.J.C., otorgan ninguna garantía, expresa o implícita, a asumen responsabilidad alguna por la exactitud, completitud o utilidad de cualquier información, aparato, producto o proceso divulgado, o que represente que su uso no infrinja derechos privados. La mención o referencia a algún producto, proceso o servicio comercial en específico, por su marca comercial, marca registrada, fabricante o cualquier otra denominación, no implica ni constituye su endoso, recomendación o favorecimiento por parte de la Revista INGENIERÍA. Los juicios y opiniones expresadas por los autores en este medio son de su responsabilidad y no establecen, reflejan o comprometen los de la Revista INGENIERÍA.

La ilustración de la carátula hace alusión al impacto de las redes sociales en aspectos como tendencias de opinión, transmisión de conocimiento, toma de decisiones; de allí su relevancia como objeto de investigación en Ingeniería". Autor de la ilustración: Guillermo Peñalosa Martínez.

CONTENIDO

EDITORIAL

- La universidad que vivimos...una ruta para lograr la universidad que soñamos...** 4
Henry Alberto Diosa, Ph.D.

ARTÍCULOS REGULARES

- Generador de grafos multirrelacionales a partir de redes sociales** 8
A Multi-Relational Graph Generator Based-on Social Networks Data
Pedro Almagro Blanco • Sonia Ordoñez Salinas

- Modelo de programación matemática para la cadena productiva del biodiésel en Colombia** 19
Mathematical Programming Model of Biodiesel Supply Chain in Colombia
Johan Alexander Aranda Pinilla • Manuel José Barón Molina
Isaac Huertas Forero • Javier Arturo Orjuela Castro

- Hacia una propuesta de mecanismos para la autenticidad de objetos de aprendizaje en plataformas Learning Content Management Systems** 50
Mechanisms for Authenticity of Learning Objects in Learning Content Management Systems Platforms: Issues and Proposals
Paulo Alonso Gaona-García • Carlos Enrique Montenegro Marín
Helvert Wiesner González

- Diseño de un dispositivo para la movilidad de personas con discapacidad motriz usando el método función de calidad** 65
Design of a Mobility Device for Disabled People Using the Method of Quality Function Deployment
Leonardo Emiro Contreras Bravo • Wilmar Augusto Granados

- Instrucciones para los Autores** 83

Editorial

La universidad que vivimos...una ruta para lograr la universidad que soñamos...

En los pasados días, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se hizo frecuentemente visible en los medios de comunicación por la situación de anormalidad académica que afectó a las cinco facultades. Esta crisis visibilizó hacia la comunidad externa un conjunto de falencias estructurales comunes que viene padeciendo el sistema universitario público de Colombia y algunas dolencias institucionales locales a nuestra alma máter.

Existen factores negativos que afectan el sistema universitario público, en mayor medida desde la expedición de la Ley 30 de 1992, entre los más críticos se pueden considerar:

- La pauperización de la infraestructura física y logística.
- La informalización del trabajo docente y administrativo.
- La acreditación y creditización académica eficientista sin efectos reales sobre la mejora en la calidad.
- Una tergiversada interpretación de la autonomía universitaria por parte de la mayoría de los Consejos Superiores.
- La pérdida de la calidad de sujeto de profesores, estudiantes y trabajadores, ahora tratados mayormente como objetos.
- La paulatina autofinanciación justificada desde la misionalidad genérica del concepto de universidad y con un gradual desentendimiento del estado frente al derecho fundamental a la educación.

El análisis de cada uno de estos factores podría ocupar más espacio que el de una nota editorial; se puede concluir, por la situación actual, que los efectos de la normatividad estatal y el actuar insensible de diferentes gobiernos ante las evidencias de deterioro ha disminuído la capacidad competitiva en el ámbito académico-científico de muchas universidades públicas.

Lo anterior se torna más preocupante cuando en cada contexto particular de las treinta y dos universidades públicas emergen problemas locales; como se expresó antes, en su mayoría originados por las falencias del modelo universitario público que se implementó con la Ley 30 de

1992 y los decretos reglamentarios de esta. En algunos casos, se añade a lo anterior la propagación de malas prácticas en el ambiente académico-científico y administrativo en el interior de las instituciones. La afectación de la cultura organizacional, en contravía del axioma de universidad como catalizadora del cambio y progreso para la sociedad, afirman la idea de un ambiente amplificador de los males contextuales que la afectan.

Es necesario reconocer que la historia de nuestra alma máter, convertida de facto en una alternativa para la educación superior de nuestros jóvenes bogotanos, ha evolucionado de manera algo desordenada e improvisada; lo anterior, se puede vislumbrar en la recuperación histórica que han hecho historiadores como el Profesor Carlos Arturo Reina en su escrito “El contexto de creación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas”¹. Este crecimiento, basado en intereses coyunturales muchas veces impregnados por intereses personales limitados y a veces con incidencia de políticos de turno sin visión académica, ha generado una organización que no logra todavía la madurez institucional requerida por una universidad pública cuyos estándares de calidad y desempeño deben ser de los más altos a nivel regional, nacional e internacional.

Los modelos de medición de madurez organizacional coinciden en ubicar a las organizaciones inmaduras entre aquellas cuyos logros y resultados más significativos dependen de actos heroicos o individualidades excepcionales que posicionan transitoriamente una institución. Es innegable que en la Universidad Distrital se encuentran excelentes profesores, estudiantes y trabajadores que generan resultados interesantes en su quehacer; no obstante, dista mucho de ubicarse en un alto nivel de madurez que le permita mantener sus logros en puntos fijos que le permiten escalar en su evolución de manera constante y consistente.

Debilidades que evidencian lo antes expresado son:

1. La inseguridad jurídica en lo académico y administrativo genera una débil institucionalidad que dificulta la gobernabilidad académico-administrativa.
2. La informalización laboral docente que se refleja en una mayor proporción de profesores que difícilmente pueden desarrollar su proyecto de vida con el modelo laboral de “vinculación especial”, forma de trabajo que ha pauperizado el trabajo del profesor universitario.
3. La informalización laboral administrativa evidenciada en una altísima proporción de contratación por medio del modelo contractual de OPS (orden de prestación de servicio) para atender labores misionales en cada una de las facultades.
4. Clientelismo y corrupción. Las anteriores situaciones enunciadas favorecen un clima organizacional donde prima el clientelismo antes que la meritocracia. Este modelo

1 Escrito publicado en “Universidad Distrital: Sesenta años de memoria y vida” compilado documental apoyado por el Instituto de Estudios e Investigaciones Educativas (IEIE). Julio de 2008.

institucional genera frecuentes conflictos de intereses en los concursos docentes y en la vinculación de administrativos.

5. Malas prácticas académicas por la debilidad institucional. Situaciones vergonzosas que atentan contra la integridad académico- científica, un ejemplo es el carrusel de puntos salariales denunciado en el 2013 y ratificado por la Contraloría de Bogotá en su informe final.
6. Una clara deficiencia de infraestructura y recursos para las labores misionales. Una muestra de esto es que muchos profesores no cuentan ni siquiera con una oficina o un puesto de trabajo digno para desempeñar sus labores docentes y de estudio.

Esta situación hizo emerger un movimiento multiestamentario de protesta, nacido varios meses antes de los inicios del 2014, que tuvo como “Florero de Lorente” la aprobación de los Acuerdos No. 08 y 09 de 2013 por parte de cinco miembros del Consejo Superior Universitario en una tergiversada interpretación de la autonomía universitaria que desconoció los aportes valiosos de las comunidades al proceso de reforma y reformulación del modelo institucional. Este movimiento se vio fortalecido por una actitud reflexiva y radical del movimiento estudiantil que declaró un paro indefinido.

La coyuntura antes mencionada permitió que en este periodo de tiempo se hiciera conciencia en la comunidad universitaria de la necesidad de una re-estructuración profunda y participativa de la Universidad Distrital, que la convierta en una alternativa de alta calidad en la educación superior en Bogotá. En el marco de las manifestaciones de descontento de la comunidad universitaria se logró el compromiso real del Alcalde de Bogotá en el liderazgo del Consejo Superior Universitario, esto correlacionó de manera diferente las fuerzas en dicho órgano de gobierno y permitió, con la colaboración de nuevos miembros del mismo, que los acuerdos arriba mencionados se derogaran, que se brindaran las garantías académicas para terminar el semestre académico y que se aprobara una ruta metodológica para la re-estructuración de la Universidad Distrital.

Lo anterior demuestra que la censura social, sólidamente argumentada, es un poderoso instrumento para alinear a quienes gobiernan con una línea de acción donde prime el bien general por encima del interés particular. La conciencia política acompañada de un pensamiento crítico, que no acepta argumentaciones falaces, sino propuestas bien sustentadas aún así debatibles, posibilita que los individuos de nuestras comunidades recuperen el papel de sujetos dinámicos y transformadores en contraposición a sentirse objetos receptores pasivos de las decisiones de quienes los gobiernan. Este pequeño paso puede consolidar un clima organizacional más íntegro y autoregulado en lo académico y administrativo.

La docencia, la investigación y el estudio son postulados misionales de la universidad “humboldtiana”. Estos principios misionales, aceptados implícitamente por el modelo universitario de Latinoamérica, se han ampliado con la extensión y proyección social en la universidad postmoderna. La evolución de la universidad moderna en los siglos XIX y

XX ha evidenciado un crecimiento paulatino de las responsabilidades del Estado con el estímulo a una universidad investigativa que atienda la docencia y el estudio con ambientes y modelos de trabajo dignos. Cada nación ha evolucionado a diferentes ritmos pero convergen en un mayor compromiso estatal con la educación superior gratuita y de alta calidad; eso sí, sin desconocer que el estado exigirá cuentas claras a la misma universidad y resultados frente a la solución de los problemas que acaecen en sus sociedades.

Por consiguiente, es el momento de visionar una Universidad Distrital del calibre que requiere la ciudad-región; este compromiso lo debemos asumir con suficiente responsabilidad, sin olvidar que existen insumos construidos en diferentes procesos de nuestra comunidad, entre ellos: Asamblea Consultiva Universitaria, Comisión de Reforma Académica, Comité Institucional de Currículo, diversas reflexiones documentadas de profesores y hasta los mismos intentos de reformas inconsultas por parte de algunas autoridades académicas. Estos resultados previos pueden alimentar la concepción del nuevo modelo institucional, cuyos retos incluyen la minimización, ojalá eliminación, de las malas prácticas actuales y la capacidad de responder con soluciones profundamente razonadas a los problemas de la ciudad-región y del país con una conciencia clara del estado del arte en cada disciplina.

La ruta metodológica aprobada en el Consejo Superior Universitario del 12 de junio de 2014 es solo un camino de construcción de abajo hacia arriba que nos puede llevar a un nuevo modelo de universidad, que debe contar inicialmente con un sólido estatuto general del cual se deriven las demás reglamentaciones docente, estudiantil de pregrado y postgrado, de investigación, de extensión y proyección social con las demás normas necesarias para brindar fortaleza institucional desde la seguridad jurídica. Otros retos tendrán que ver con el cambio del clima organizacional a uno que favorezca la integridad académico-científica por encima de todo. La propuesta metodológica no desconoce que se requiere una activa participación de todos las comunidades docente, estudiantil, trabajadora, gobierno local y nacional, expertos nacionales e internacionales en educación superior pública, expertos jurídicos, ONG y eminentes académicos de la sociedad bogotana.

En conclusión, el reto que se avecina determinará el futuro de nuestra alma máter y genera la disyuntiva:

Lo hacemos ahora nosotros desde adentro con el apoyo desde afuera u otros lo harán por nosotros desde fuera sin la seguridad de que se cuente con los de adentro.

Henry Alberto Dios, Ph.D.
Editor asociado de la Revista *Ingeniería*
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Generador de grafos multirrelacionales a partir de redes sociales

A Multi-Relational Graph Generator Based-on Social Networks Data

Pedro Almagro Blanco
Grupo de Modelado de Sistemas Complejos.
Universidad Central de Ecuador.
palmagroblanco@gmail.com

Sonia Ordoñez Salinas
Universidad Distrital.
Grupo de Investigación Gesdatos -UD
sordonez@udistrital.edu.co



Resumen

La herramienta presentada en este artículo, CorpuRed, permite obtener datos de plataformas sociales en línea para ser utilizados en proyectos de investigación que requieran información sobre el comportamiento social en internet. La forma de obtener dichos datos depende ligeramente de cada plataforma (se muestra el caso particular de Facebook), y posteriormente son almacenados en una base de datos en grafo que será accesible a través de una API bajo una licencia académica.

Palabras clave: redes sociales en línea, grafos multirrelacionales.

Abstract

The tool introduced in this paper, CorpuRed, allows obtaining a dataset from online social networks that can be used for research projects that require information about social behaviour on Internet. The way to obtain such data is slightly platform dependent (the Facebook case is described) and they are stored in a graph database that will be accessible through an academic license API.

Key words: Online Social Networks, Multi-Relational Graphs.

1. Introducción

A partir del inicio de Facebook en el 2006 en la Universidad de Harvard por Mark Zuckerberg, la creación e incidencia de las relaciones virtuales se ha incrementado vertiginosamente. A diferencia de los correos electrónicos y las salas de *chat*, las redes sociales en línea facilitan el establecimiento de amistades nuevas y la conexión entre personas (o entidades) por sus gustos, por terceros y por comentarios, entre otros. Según cifras oficiales de la propia compañía, para el 2013 [1], Facebook cuenta con 1-150 millones de usuarios activos al mes en todo el mundo; 699 millones de usuarios entran a la red social cada día; cada usuario en promedio tiene

Fecha recibido: 07/11/2013
Fecha modificado: 23/01/2014
Fecha aceptado: 30/05/2014

relación con 89 páginas y grupos, con 141.5 amigos y gasta 20 minutos al día en navegar dentro de la red. Facebook cuenta en la actualidad con aproximadamente 50 millones de páginas, 240 millones de fotografías y 110 millones de canciones y álbumes compartidos. Estas cifras ponen de manifiesto la riqueza del conocimiento inmerso dentro de estas redes, así como la necesidad de teorías que puedan modelar dichas relaciones, entre las cuales, los grafos mutirrelacionales parecen disponer de las características más adecuadas.

A pesar de que una red social como Facebook contiene una gran cantidad de información útil para la investigación, esta no está disponible como se quisiera para la academia. Si bien estas redes sociales incluyen algunas herramientas dirigidas al público para interactuar con la información almacenada en su red cercana, no existe un aplicativo que permita obtener grandes conjuntos de datos sociales interrelacionados para ser utilizados en tareas de investigación como, por ejemplo, el análisis de comportamientos con intenciones delictivas, emergencia de movimientos sociales, análisis de sentimientos, etc. En este artículo se describe el desarrollo de un aplicativo que pretende cubrir esta carencia.

Para describir el trabajo desarrollado se presenta en el siguiente apartado, y a modo de contextualización, una visión general de los conceptos principales relacionados con las redes sociales y el aparato matemático utilizado para la gestión computacional de estas redes. Posteriormente, pasamos a describir las funcionalidades de la herramienta, la arquitectura utilizada, el modelo lógico usado internamente para el almacenamiento y manipulación de los datos, así como ejemplos de redes obtenidas por la herramienta. Finalmente, en el apartado 4 se muestran los primeros resultados y el trabajo futuro planificado.

2. Trabajo relacionado

A continuación, se presentan los conceptos fundamentales que permiten contextualizar el trabajo desarrollado. Por una parte, y con el fin de fijar el ámbito de estudio, se incluyen algunas definiciones básicas sobre redes sociales. Por otra parte, se exponen los fundamentos de los grafos multirrelacionales y se muestran sus bondades y características generales. Este marco teórico se vuelve aún más robusto en el momento en el que existen en el panorama de desarrollo actual herramientas de software que permiten una implementación práctica de los mismos.

2.1. Redes sociales

Una red, o grafo, es una estructura matemática que contiene un conjunto de objetos, llamados habitualmente nodos o vértices, conectados binariamente entre sí por medio de conexiones, llamadas aristas o enlaces, que pueden ser dirigidas (en caso de que sea importante saber en qué nodo nace la conexión) o no dirigidas (en caso contrario). Desde un punto de vista matemático, los grafos disponen de una robusta teoría, la Teoría de Grafos [15], que facilita su uso como herramienta de análisis y representación de la información.

En el caso particular de que las redes reflejen una realidad social, los nodos pueden representar personas o entidades relacionadas con sus contextos, y las conexiones representarán relaciones sociales existentes entre ellos (amistad, parentesco, membresía, afinidad, etc.). A pesar de que intuitivamente las redes sociales se asemejan a los grafos matemáticos, es más habitual que en ellas se trabaje con distintos tipos de relaciones [2], y no solo con un tipo de conexión predefinida. Por ello, en los últimos años se ha hecho necesaria la extensión del concepto de grafo, así como de la teoría asociada, para poder dar cabida a este tipo de redes con características más ricas que las estructuras clásicas.

Desde un punto de vista analítico, las diferentes relaciones que se pueden presentar en una red social permiten su uso en áreas de investigación interdisciplinarias, ya que posibilitan el reconocimiento de patrones de comportamiento tanto en el ámbito individual (micro) como a nivel de la red global (macro), y proporcionan interesantes interpretaciones en ámbitos tan diversos como el político, social, cultural, económico, educativo, entre otros [16, 17].

2.2 Grafos multirrelacionales

Para que sea posible reconocer y analizar las interrelaciones y patrones existentes en una red social es necesario representar dicha red a través de estructuras computacionales que aseguren la solidez de los resultados obtenidos. Debido al tamaño y características de las redes sociales, es imprescindible que la representación elegida permita, además de organizar la información, proporcionar un tratamiento computacional escalable que nos asegure el éxito de nuestra tarea. La dificultad del problema que se plantea no responde únicamente a la cantidad de información que se manipula, sino también a la complejidad subyacente de los datos que viene dada por la riqueza de las interrelaciones que presentan. Por este motivo, la tarea de encontrar patrones que reflejen relaciones interesantes y no triviales, a partir de estos grandes conjuntos de datos, adquiere una importancia fundamental.

Hemos de considerar que en las redes sociales, además de la información propia de la red de individuos y sus relaciones, aparece el contexto social en el que estos se inscriben. Por esto, junto a la capa de individuos coexiste una capa de elementos socioculturales más diversa con la que se relacionan, y que tiene una carga semántica muy elevada y altamente no estructurada.

Cuando la información de la que se dispone es muy rica, tanto en su contenido semántico como en sus relaciones, una opción es modelarla como una red semántica, que consiste en un grafo etiquetado y dirigido en el que las etiquetas de los nodos y las aristas del grafo representan, respectivamente, los tipos de entidades y tipos de relaciones existentes entre los datos. Este proceso de etiquetado en las relaciones del grafo obliga a la generación de un nuevo concepto matemático que sea capaz de modelar el problema, por ello aparecen en escena los grafos multirrelacionales [6].

La diferencia entre un grafo clásico (que se podría llamar unirrelacional) y un grafo multirrelacional no es menor, ya que la existencia de tipos de relaciones no solo proporciona un modelo más rico, sino que también actúa como una puerta de entrada a la inferencia lógica haciendo uso de ontologías y mapas de tópicos (que pueden entenderse como estructuras matemáticas que proporcionan relaciones lógicas robustas a la información semántica modelada en la red).

A cambio de la riqueza obtenida al permitir la multirrelacionalidad en los grafos, se pierden algunos de los resultados y herramientas clásicas que nos permiten realizar análisis exhaustivos de los mismos, por lo que se abre una vía nueva de la teoría de grafos multirrelacionales que exige el establecimiento de nuevos resultados y herramientas de análisis.

Desde un punto de vista analítico se pueden extender de varias formas las medidas ya definidas en la teoría clásica de grafos (tales como grado, centralidad o *betweenness*) a los grafos multirrelacionales, de forma que podemos utilizar las metodologías ya desarrolladas en los primeros para extraer información de los segundos. Por ejemplo en el caso del grado, que en la teoría clásica nos indica en qué cantidad de relaciones está participando un nodo dado, tendríamos varias formas posibles de extenderla: una primera opción sería contar por separado las relaciones de cada tipo en las que participa el nodo y construir un vector de grados en el que cada valor del vector indique el grado de ese nodo para cada tipo de relación permitida; una segunda opción sería asignar a cada tipo de relación un peso (que indicaría su importancia en el análisis), para calcular posteriormente el grado como la suma ponderada de los diferentes grados para cada tipo de relación.

Por otra parte, al surgir nuevas necesidades en un panorama por ahora casi inexplorado, es probable que haya que introducir nuevas medidas, no extensiones de las clásicas, que sean capaces de reflejar la riqueza de interacciones que las nuevas estructuras tienen.

2.3 Extracción de grafos multirrelacionales a partir de redes sociales

Dentro de las aplicaciones que utilizan grafos para representar el contenido de la web se destaca la presentada recientemente por Google, *Knowledge Graph* [3]. Mediante esta, Google afirma que el futuro de las búsquedas será a través de un grafo de conocimiento, creado parcialmente por las interacciones sociales de los usuarios del servicio. Dicha herramienta permitirá navegar entre los diferentes sitios, personajes, eventos y objetos haciendo uso de un grafo multirrelacional, y no, como se hace habitualmente, por medio de la selección de una lista de enlaces. En la actualidad, Google ofrece para esta aplicación 500 millones de temas y más de 3500 millones de hechos y relaciones. [4].

La construcción de grafos a partir de información disponible en la web se puede apreciar no solo en la gestionada por los buscadores, sino también en muchos otros repositorios de información disponibles en internet. Por ejemplo, en [7] se construye un grafo a partir de los mensajes de correo electrónico de un grupo de usuarios; mientras que en

[8] se representa por medio de un grafo dirigido a la interacción entre los diferentes servicios web que intervienen cuando un usuario hace una petición a través de uno de ellos.

Si bien existen los repositorios de información, la tarea de extraer información de estos servicios y estructurarla adecuadamente no es tan sencilla como se quisiera. En el más favorable de los escenarios el propio servicio ofrece las herramientas para poder extraer secciones locales, más o menos limpias, de la información y es el investigador quien debe seguir un protocolo para darle la estructura que considere más adecuada para su análisis. En los menos favorables no existen tales herramientas de extracción, ni siquiera en lo local, y han de desarrollarse *web crawlers* que permitan ir recopilando grandes cantidades de datos que después han de ser filtrados y estructurados.

Precisamente, la ausencia de este tipo de herramientas de extracción es la que motiva la construcción del aplicativo que se describe en las siguientes secciones, con referencia concreta a la red social de Facebook.

A diferencia de otras herramientas como [18, 19] en las que se recopilan datos de redes sociales concretas, nuestro sistema permite reutilizar la capa de almacenamiento para adaptarla dinámicamente a las características propias de cada plataforma de red social en línea, extendiendo el esquema existente sin necesidad de hacer ningún cambio estructural en los datos (la adición de nuevos tipos y relaciones es incremental), lo que permite hacer unificación (*merging*) de los datos de un mismo individuo por agregación de información de las diferentes plataformas en las que participa.

3. La herramienta CorpuRed

A continuación, presentamos la aplicación que se ha desarrollado para extraer conjuntos de datos en forma de grafo multirrelacional, ejemplificado con el caso específico de la red social Facebook. Debido a las características del acceso que ofrece el servicio, el grafo se construye a partir de los entornos locales de cada usuario que haga uso de la aplicación. Nuestra herramienta reconoce los puntos de conexión entre las distintas redes personales a las que tiene acceso y va construyendo una red global, de forma que finalmente disponemos de un grafo muy rico en el que se pueden hacer estudios transversales y no únicamente relacionados con la ego-red de cada usuario.

3.1. Funcionalidad

El objetivo de la aplicación desarrollada es ofrecer una interfaz sencilla que permita extraer conjuntos de datos sociales para su posterior uso por parte de la comunidad académica.

Uno de los problemas principales que se han encontrado a la hora de extraer el conjunto global de datos sociales es que servicios como Facebook limitan las consultas y solo

permiten acceder a los datos de los amigos del usuario que esté utilizando el sistema. Por ello, el desarrollo se enfocó en extraer información del círculo del usuario que ejecuta la aplicación, la cual es almacenada en una base de datos orientada a grafos.

Es importante señalar que la herramienta *CorpuRed* recopila la información disponible en el momento de la extracción. Publicaciones y actualizaciones futuras no quedarán registradas y será necesaria una nueva extracción para recopilarlas.

3.2. Arquitectura y modelo de datos

La herramienta *CorpuRed* ha sido implementada haciendo uso del lenguaje de programación Javascript [9]. Cuando un usuario accede a la aplicación con su cuenta de Facebook, esta extrae la información de su círculo social y la añade a la base de datos en grafo almacenada en un servidor (figura 1). La tecnología utilizada para esta tarea fue Neo4j [10].

La comunicación entre *CorpuRed* y Facebook se hace mediante el lenguaje de consulta FQL (Facebook Query Language) [11] y el SDK de Facebook para Javascript [12]. La comunicación entre la aplicación y el servidor Neo4j se hace por medio del lenguaje de consulta Cypher [13] y la API REST de Neo4j [14].

Gracias a la arquitectura y a las tecnologías escogidas, y debido a que la mayoría de las plataformas de redes sociales en línea suministran una API de acceso a sus datos, *CorpuRed* se puede ampliar fácilmente incluyendo nuevas redes sociales de las que ex-

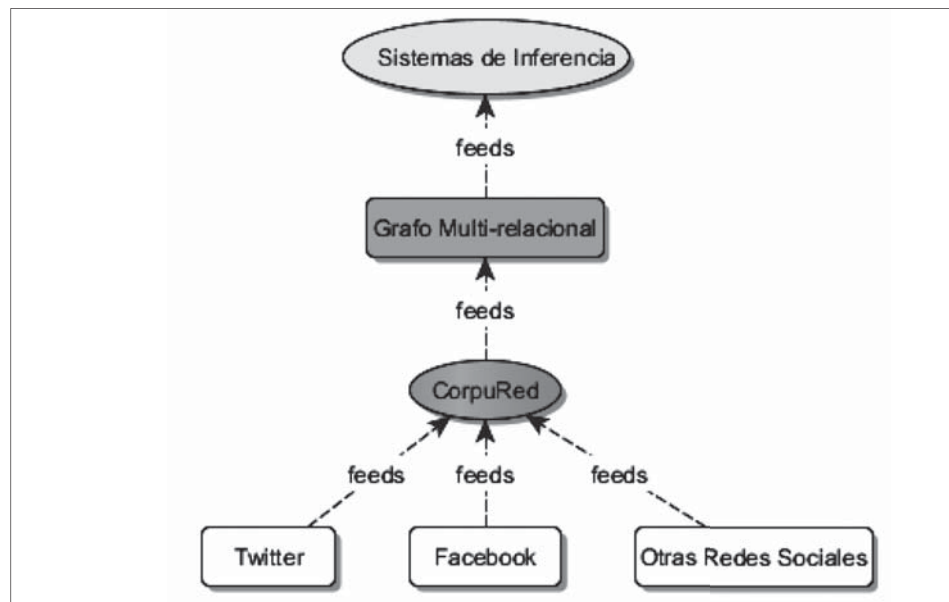
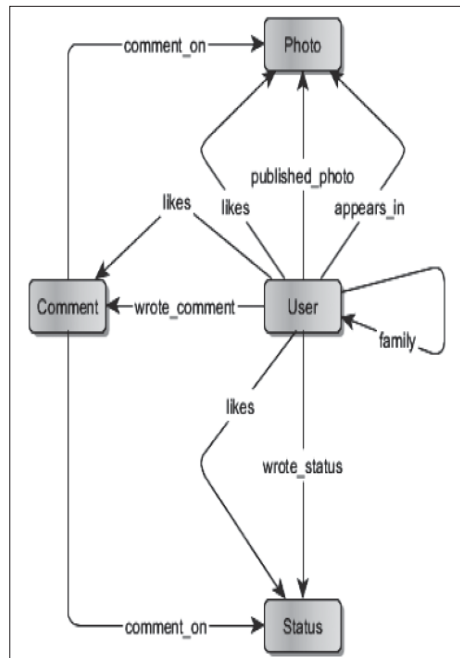


Figura 1. Arquitectura de *CorpuRed*. Fuente: el autor.



Propiedades de los Tipos de Nodos			
User	Photo	Status	Comment
Id	Id	Id	Id
Name	Date	Text	Text
Birthdate_date	source	date	
First_name			
Middle_name			
Last_name			
Gender			
Locale			
Updated_time			
Username			

Figura 2. Modelo de datos de CorpuRed.
Fuente: el autor.

traer datos sin necesidad de grandes modificaciones. Para ello solo sería necesario modificar la capa de comunicación de la aplicación con la red social en línea, ya que la capa que interactúa con la base de datos permanecería intacta. Por ejemplo, la red social en línea Twitter suministra una REST API [21] que sería fácilmente integrable en CorpuRed.

Partiendo del modelo de datos de Facebook, en nuestra primera versión, se ha optado por un esquema de datos en el que contemplamos cuatro tipos de nodos (*user*, *status*, *comment* y *photo*) y seis tipos principales de relaciones (*family*, *wrote_comment*, *wrote_status*, *likes*, *appears_in*, *published_photo*, *comment_on*), como se observa en la figura 2. La relación de tipo *family* se subdivide, a su vez, en 22 tipos concretos de relaciones dentro del ámbito familiar. Este esquema permite capturar con fidelidad el contenido semántico de los datos extraídos de la red social en línea.

La forma de orquestar la construcción de la red global a partir de las redes individuales es a través de la detección de identificadores comunes: las redes sociales en línea utilizan identificadores únicos para cada elemento (usuarios, páginas, fotografías, comentarios,...), y CorpuRed, haciendo uso de estos identificadores, es capaz de detectar que dos elementos que provienen de dos extracciones independientes representan el mismo nodo, de esta forma se efectúa la unión entre redes

locales a la vez que se evita la duplicación de información.

Con el fin de lograr un equilibrio entre el tiempo de extracción y la riqueza de los datos obtenidos, CorpuRed extrae los últimos *n* estatus y las últimas *m* fotografías de cada individuo en el entorno del usuario que ejecuta la aplicación (estos valores, que pueden ser ajustados por el administrador de la herramienta, tienen un valor por defecto de 15). El algoritmo que se sigue para este proceso se detalla en la tabla I.

Tabla I. Pseudocódigo del procedimiento de extracción de la ego-red de un usuario???	
<p>Extraccion-ego-red(u,n,m) ;u:usuario que ejecuta la aplicación ;n:nº de status a extraer de cada amigo ;m:nº de fotografías a extraer de cada amigo Para cada amigo a de u: familiares = familiares de a Para cada f en familiares: Añade-relación(f,familia,a) stat = últimos n status publicados por a Para cada s en stat: Añade-relación(a,wrote_status,s) Añade-likes(s) Añade-comentarios(s) photos = últimas m photos posteadas por a Para cada p en photos: Añade-relación(a,published_photo,p) Añade-likes(p) Añade-comentarios(p) etiquetados = usuarios etiquetados en p Para cada e en etiquetados: Añade-relación(e,appears_in,p)</p>	<p>Añade-relacion(orig,tipo-rel,dest) Si no existe nodo orig: Añadir nodo orig Si no existe nodo dest: Añadir nodo dest Si no existe la relación orig-[tipo-rel]->dest: Añadir relación orig-[tipo-rel]->dest</p> <p>Añade-likes(orig) likers = usuarios que han dado like a orig Para cada l en likers: Añade-relación(l,likes,orig)</p> <p>Añade-comentarios(orig) comentarios = comentarios de orig Para cada c en comentarios: autor = obtener autor de c Añade-relación(autor,wrote_comment,c) Añade-relación(c,comment_on,orig) Añade-likes(c)</p>

Fuente: el autor.

4. Resultados preliminares

Siguiendo el algoritmo de agregación de datos mostrado en la tabla I, presentamos un ejemplo de dos redes locales extraídas mediante la herramienta CorpuRed y el resultado de la unión de ambas en la red global.

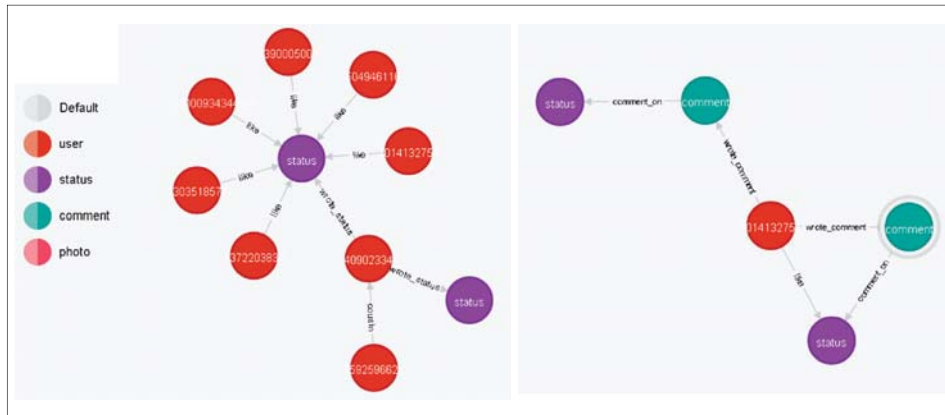


Figura 3. Ejemplo de redes locales extraídas con CorpuRed. Fuente: el autor.

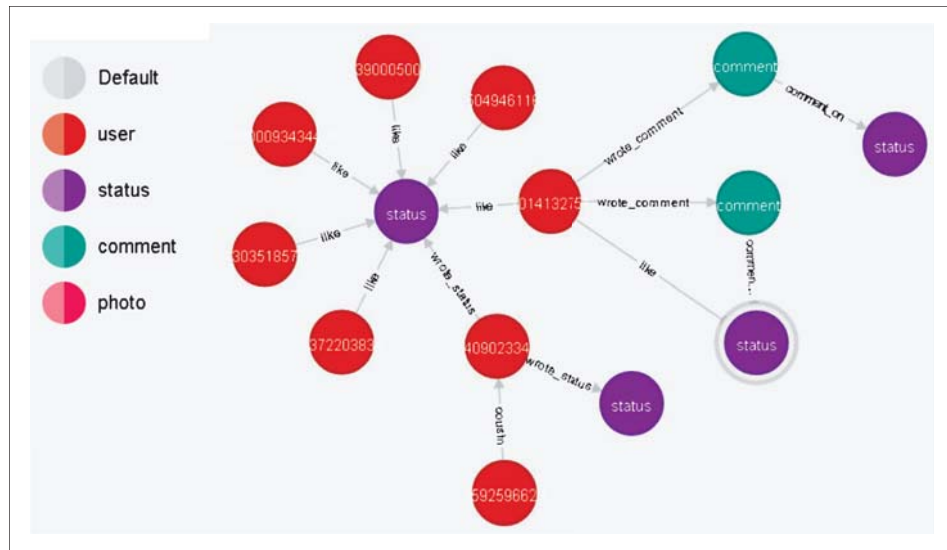


Figura 4. Ejemplo de red global construida a partir de la unión de las redes locales.
Fuente: el autor.

Como se puede observar, ambas redes comparten un nodo, el *user* con id 01413275. Aplicando el proceso explicado en el algoritmo anterior obtendríamos la red global mostrada en la figura 4.

Durante una primera fase de pruebas realizada sobre 5 usuarios, se han recopilado aproximadamente 45 000 nodos (contabilizando usuarios, fotografías, estados y comentarios), 75 000 relaciones y 150 000 propiedades. Recordemos que por cada usuario que ejecuta el aplicativo se pueden extraer hasta n *status* y m fotografías por cada uno de sus amigos, que pueden llevar asociados comentarios, *likes*, etiquetas y los usuarios que los han generado. Esto significa que por cada usuario se añade una media de 10 000 nodos, lo que explica el elevado crecimiento en el número de datos almacenados. Por supuesto, si los usuarios comparten muchos nodos en sus círculos, la tasa de crecimiento en el número de nodos será más moderada pero la red seguirá creciendo en número de relaciones, aumentando así el grado de interconexión.

5. Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo hemos presentado un aplicativo, Corpured, que recopila de manera incremental una colección de datos sociales extraída a partir de los círculos de los usuarios que voluntariamente ceden sus datos. La colección se almacena siguiendo un modelo de grafo multirrelacional sobre una plataforma (Neo4J) que permite realizar consultas complejas para buscar patrones de comportamiento. El motor de consultas que permite estas búsquedas, Cypher, también es utilizado en la comunicación de *CorpuRed* con la base de datos durante el almacenamiento.

Este aplicativo es el primer paso de un proyecto de investigación que tiene como objetivo analizar conjuntos de datos sociales para extraer patrones, por medio de diferentes técnicas de minería de datos. Una de las vías por las que se plantea mejorar CorpuRed es mediante la conexión con otras plataformas de redes sociales en línea. Como hemos comentado, para ello basta realizar modificaciones menores en el esquema de grafo multirrelacional que sirve de soporte a la base de datos, junto con la creación de un protocolo de comunicación adaptado a la plataforma. De esta forma, cuando sea posible identificar elementos comunes, se obtendrían relaciones cruzadas a partir de la información social almacenada en distintas plataformas.

Confiamos en que un aplicativo de este tipo sea de alto valor en el mundo académico al proporcionar de forma relativamente sencilla y bajo una licencia abierta (tras un proceso de anonimización) un gran conjunto de datos que sirva de soporte para investigaciones en diversas áreas del conocimiento.

Agradecimientos

El trabajo se realizó durante la estancia de investigación del primer autor en el grupo Gesdatos de la Universidad Distrital F.J.C de Bogotá, Colombia.

Referencias bibliográficas

- [1] J. L. Bermúdez, “Infografía actual con algunas estadísticas curiosas de Facebook,” [Online]. Soft and Apps Blog, 4 de septiembre de 2013. Disponible en: <http://www.softandapps.info/2013/09/04/infografia-actual-con-algunas-estadisticas-curiosas-de-facebook>. Consultado: septiembre 21 de 2013.
- [2] R. A. Hanneman and M. Riddle, “Introduction to Social Network Methods,” [Online]. Riverside, CA: University of California. Disponible en: <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/>. Consultado: September 12, 2013.
- [3] Google, “El grafo del conocimiento,” [Online]. google.com. Disponible en: <http://www.google.com/insidesearch/features/search/knowledge.html>. Consultado: septiembre 21 de 2013.
- [4] Google, “Introducing Knowledge Graph: Thing, not Strings,” [Online]. Google Official Blog, 16 May 2012. Disponible en: <http://googleblog.blogspot.com/2012/05/introducing-knowledge-graph-things-not.html>.
- [5] A. Badia and M. Kantardzic, “Graph Building as a Mining Activity: Finding Links in the Small,” in *LinkKDD '05: Proceedings of the 3rd international workshop on Link discovery*, ACM, 2005, 17-24.
- [6] M. A. Rodriguez and J. Shnavier, “Exposing Multi-relational Networks to Single-relational Network Analysis Algorithms,” *Journal of Informetrics*, vol. 4, no. 1, pp. 29-41, 2009.
- [7] M. Laclavík, S. Dlugolinský, M. Seleng, M. Ciglan and L. Hluchý, “Emails as Graph: Relation Discovery in Email Archive”, in *Proceedings of the 21st International Conference Companion on World Wide Web*, 2012.
- [8] C. B. Mahmoud, F. Bettahar, H. Abderrahim and H. Saidi, “Towards a Graph-Based Approach for Web Services Composition,” *IJCSI*, vol. 10, issue 1, p. 351, January 2013.
- [9] Mozilla, “JavaScript Reference,” [Online]. developer.mozilla.org. Disponible en: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference>. Consultado: September 21, 2013.

- [10] Neo4j, "Neo4j Documentation," [Online]. neo4j.org. Disponible en: <http://docs.neo4j.org/>. Consultado: September 21, 2013.
- [11] Facebook, "FQL Reference," [Online]. facebook.com. Disponible en: <https://developers.facebook.com/docs/reference/fql/>. Consultado: September 21, 2013.
- [12] Facebook, "Facebook SDK for JavaScript," [Online]. facebook.com. Disponible en: <https://developers.facebook.com/docs/reference/javascript/>. Consultado: September 21, 2013.
- [13] Neo4j, "Cypher Query Language," [Online]. neo4j.org. Disponible en: <http://docs.neo4j.org/chunked/milestone/cypher-query-lang.html>. Consultado: September 21, 2013.
- [14] Neo4j, "REST API," [Online]. neo4j.org. Disponible en: <http://docs.neo4j.org/chunked/milestone/rest-api.html>. Consultado: September 21, 2013.
- [15] A. L. Barabási. *Linked: The New Science of Network*. Perseus Books Group, 2002.
- [16] C.A. Hidalgo, R. B. Klinger, A.-L. Barabási and R. Hausmann, "The Product Space Conditions the Development of Nations," *Science*, vol. 317, pp. 482-487, 2007.
- [17] V. Palchykov, K. Kaski, J. Kertesz, A.-L. Barabási and R. Dunbar, "Sex Differences in Intimate Relationships," *Scientific Reports*, vol. 2, article number 370, p. 105, 2012.
- [18] A. V. Yakushev, A. V. Boukhanovsky and P. M. A. Sloot, "Topic Crawler for Social Networks Monitoring," *Knowledge Engineering and the Semantic Web. Communications in Computer and Information Science*, vol. 394, pp. 214-227, 2013.
- [19] A. Saroop and A. Karnik, "Crawlers for Social Networks & Structural Analysis of Twitter", in *5th International Conference on Internet Multimedia Systems Architecture and Application (IMSAA)*, 2011 IEEE.
- [20] D. Murthy, A. Gross, A. Takata and S. Bond, "Evaluation and Development of Data Mining Tools for Social Network Analysis," in *Mining Social Networks and Security Informatics Lecture Notes in Social Networks*, 2013, pp. 183-202.
- [21] Twitter, "The Twitter REST API," [Online]. twitter.com. Disponible en: <https://dev.twitter.com/docs/api>. Consultado: January 19, 2014.

Pedro Almagro Blanco

Ingeniero informático de la Universidad de Sevilla (España). Magíster en Lógica, Computación e Inteligencia Artificial por la misma Universidad. Actualmente, realiza su tesis doctoral en el área de redes complejas. Profesor de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Central de Ecuador. Miembro del Grupo de Modelado de sistemas Complejos en la Universidad Central de Ecuador, del Grupo de Lógica Computacional de la Universidad de Sevilla, del Cultureplex Lab, de la Universidad de Western Ontario (London, Canadá), y del Grupo de Investigación Gesdatos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC). Correo electrónico: palmagroblanco@gmail.com

Sonia Ordoñez Salinas

Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC). Estadística de la Universidad Nacional. Ingeniera de sistemas y especialista en teledinformática de la UDFJC. Magíster en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional. Doctor Ing. Sistemas y Computación de la Universidad Nacional. Miembro del Grupo de Investigación Gesdatos de la UDFJC. Correo electrónico: sordonez@udistrital.edu.co

Modelo de programación matemática para la cadena productiva del biodiésel en Colombia

Mathematical Programming Model of Biodiesel Supply Chain in Colombia

Resumen

El presente trabajo describe un modelo de programación lineal entera mixta para la estructuración e integración de toma de decisiones estratégicas y tácticas, relacionadas con la producción del biocombustible biodiésel, a partir de palma africana en Colombia. Para ello, se definen cuatro zonas (norte, central, oriental y suroccidental), con el fin de coordinar de manera estructurada el flujo de los recursos entre los eslabones de la cadena productiva definida: desde el eslabón inicial, "cultivo", pasando por los eslabones centrales, "extractoras y "refinado", hasta el eslabón final, "mezclado", los cuales conforman la red de suministro.

El objetivo del modelo es determinar un plan de distribución de palma, aceite y biodiésel a lo largo de la cadena, un plan de producción e inventario y un plan de aumento de capacidad de las biorrefinerías que minimice el costo total de la cadena a lo largo de un horizonte de planeación definido. La aplicación del modelo permite mostrar una proyección al año 2043 del comportamiento de la cadena y, en especial, de los requerimientos del suelo.

Palabras clave: programación lineal, programación mixta, biodiésel, cadena de suministro.

Abstract

This paper describes a mixed integer linear programming model for structuring and integrating strategic decisions and tactics, related to the production of biofuel biodiesel from African palm in Colombia. The model considers four regions (North, Central, Eastern and South - West), in order to coordinate a structured way flow of resources between the links in the chain starting with "harvesting" going through the middle

Johan Alexander Aranda Pinilla
Universidad Católica de Colombia
johan.aranda@gmail.com

Manuel José Barón Molina
Universidad Católica de Colombia
mjbaron@ucatoica.edu.co

Isaac Huertas Forero
Universidad Católica de Colombia
ihuertas@ucatoica.edu.co

Javier Arturo Orjuela Castro
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
jorjuela@udistrital.edu.co



Fecha recibido: 01/11/2013
Fecha modificado: 29/05/2014
Fecha aceptado: 30/05/2014

steps of “extraction” and “conversion” until the final step “mixture”, which are involved in the supply network.

The goal of the model is to determine a distribution plan of palm, oil, biodiesel and diesel throughout the chain, along with a production and inventory plan, and a capacity increase plan for biorefineries in a way that minimizes the total cost of the production chain over a predefined planning horizon. The application of the model results in a projection to the year 2043 showing the behavior of the chain, specifically soil requirements for such production levels.

Keywords: linear programming, mixed programming, biodiesel, supply chain.

1. Introducción

En los últimos años los biocombustibles han comenzado a ser considerados mundialmente como una alternativa seria frente al petróleo [1]. Colombia no es ajena a esta tendencia, el impulso de producción de bioetanol y biodiésel, mediante la definición de políticas y leyes regulatorias, ha permitido un desarrollo importante del sector [2]. En cuanto a América Latina, esta presenta condiciones adecuadas para la producción de biocombustibles, dado su alto porcentaje de zonas húmedas y de recursos hídricos renovables [3]. En la región Colombia es el tercer productor de biodiésel por debajo de Argentina y Brasil.

Los modelos matemáticos han sido utilizados para describir el comportamiento de las cadenas de abastecimiento, en particular para biocombustibles; sin embargo, la revisión de la literatura revela la no existencia de un modelo que permita la estructuración e integración de toma de decisiones estratégicas y tácticas, referentes a la producción del biocombustible biodiésel a partir de palma africana en Colombia.

Este artículo es continuación de un estudio de revisión de la literatura [4], en el cual se definió la cadena de suministro de biodiésel y se estudiaron 26 modelos matemáticos aplicados a cadenas de biocombustibles y biomasa empleados en otros países. Con base en esa revisión se desarrolla un modelo de programación lineal entera mixta para la cadena productiva del biodiésel en Colombia, que incluye los eslabones: cultivos, extractoras, biorrefinerías y mezcladoras. Los tres primeros eslabones se dividen en las cuatro zonas productoras de Colombia (norte, centro, oriente y suroccidente) mientras que en las mezcladoras consideran 30 puntos desde donde se abastece toda la demanda del país. Los detalles de este modelo se describen en el presente artículo.

El modelo permite determinar un plan óptimo de distribución, producción e inventario de palma, aceite, biodiésel y diésel para la cadena, así como la decisión de aumento de capacidad de las biorrefinerías, la cual minimiza el costo total de la cadena a lo largo de un horizonte de planeación definido. Los costos incluidos en la función objetivo comprenden los costos de transporte y de inventario a lo largo de la cadena, los costos de

instalación, considerando 4 posibles tamaños de plantas, y el costo de capital asociado a la inversión en ampliación de capacidad. La aplicación del modelo permite mostrar una proyección al año 2043 del comportamiento de la cadena y, en especial, de los requerimientos del suelo.

2. Metodología

La información de entrada al modelo fue obtenida mediante la recolección, procesamiento y análisis de información secundaria proveniente de fuentes secundarias y primarias, incluyendo: bases de datos científicas (ScienceDirect, SpringerLink, EBSCOhost, SciELO y Scopus) y memorias de congresos (Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas); los Ministerios colombianos de Agricultura y del Medio Ambiente; entes nacionales como Fedebiocombustibles e internacionales como USDA (United States Department of Agriculture) y NACEPT (National Advisory Council for Environmental Policy and Technology), y organizaciones multinacionales como el IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) y la Cepal (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). La información primaria se obtuvo de las refinerías del departamento Meta, sus clientes y proveedores. El modelo diseñado se resolvió por métodos exactos con GAMS.

3. Antecedentes

Los biocombustibles son recursos energéticos procesados a partir de materias primas producidas recientemente por seres vivos, vegetales o animales, denominados “biomasa”. Estos pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante combustión [5]. Estos combustibles se sirven de la biomasa como fuente de energía (renovable) para producir combustión; los principales biocombustibles son: biodiésel, bioetanol y biogás [6]. Su uso genera una menor contaminación ambiental y son una alternativa viable frente al agotamiento de energías fósiles como el gas y el petróleo, en donde además se observa un incremento constante de precios.

El biodiésel se ha definido como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos, obtenidos a partir de lípidos renovables (moléculas orgánicas compuestas, principalmente, por carbono e hidrógeno y, en menor medida, oxígeno), tales como aceites vegetales o grasas animales, para su uso en encendido por compresión [7]. Es posible obtener este biocombustible a partir de una gran variedad de plantas (soya, cocotero, higuera, aguacate, jatropha/piñón, colza/canola, maní y girasol), pero se ha generalizado industrialmente a partir de la palma africana. La mezcla de biodiésel con petrodiésel (ACPM, aceite combustible para motor) se denomina BXX, donde XX es el porcentaje del biodiésel en la mezcla, ejemplo B20 significa una mezcla con 20% de biodiésel y 80% de diésel derivado del petróleo [8]. La palma africana o palma de aceite es la utilizada en Colombia para la obtención del biodiésel. La palmera tropical (figura 1) crece en climas



Figura 1. Foto de una plantación de palma de aceite africana.
Fuente: [9].

cálidos en la franja ecuatorial y puede llegar a crecer hasta 20 m de altura, se obtiene aceite de su fruto (aceite de palma) y de su almendra (aceite de almendra/palmiste).

El ciclo de producción de la palma comienza entre el tercer y cuarto año, y su aceite puede ser utilizado para obtener diversos productos de uso personal: aceites de cocina, margarinas, jabones, entre otros (figura 2). Sin embargo, su demanda ha aumentado significativamente, ya que se puede emplear, a un buen costo y rendimiento, como materia prima industrial para la producción de biodiésel.

El biodiésel se obtiene mediante un proceso denominado transesterificación. En ciertos casos, previamente a este proceso, se realiza un pretratamiento de las materias primas, basado en la esterificación (síntesis de un éster, compuesto orgánico derivado de ácidos orgánicos o inorgánicos oxigenados) de los lípidos, el cual tiene como finalidad

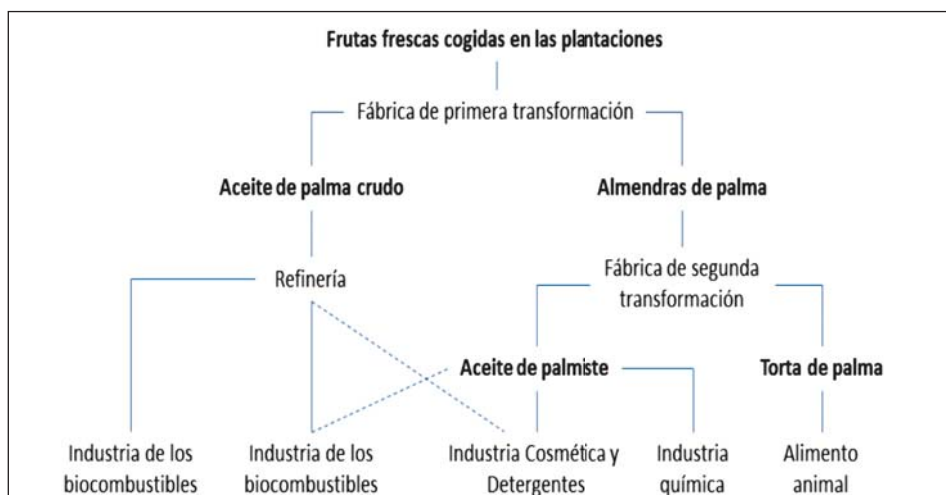


Figura 2. Usos de la palma de aceite.
Fuente: [10].

convertirlos en ésteres. Las principales etapas en la producción de los biocombustibles, dentro de las cuales se encuentra el biodiésel, se presentan en el tabla I, donde se puede observar como materia origen las plantas oleaginosas como soja, palma de aceite, colza y jatropha. Los procesos respectivos son: tratamiento de los cultivos, prensado (extracción del aceite) y, finalmente, transesterificación.

Según [11], los costos de producción de los biocombustibles varían ampliamente; estas diferencias se deben a los costos de las materias primas, al tipo de energía usado

Tabla I. Principales etapas de la producción de biocombustibles.													
Materias primas			Procesamiento industrial										
Cultivos energéticos		Cultivo	Pretratamiento		Procesamiento		Producto primario	Procesamiento		Producto final			
Plantas oleaginosas	Soja	Cria (tratamientos genéticos) mejora del contenido en aceites, azúcar y almidón; búsqueda de variedades resistentes a la sequía; tecnología para mejora de los rendimientos			Prensado o extracción		Aceite vegetal	Transesterificación		Biodiésel			
	Palma aceitera												
	Colza												Bio-oil
	Jatropha												
Cultivos azúcar/almidón	Caña de azúcar	Cria (tratamientos genéticos) mejora del contenido en aceites, azúcar y almidón; búsqueda de variedades resistentes a la sequía; tecnología para mejora de los rendimientos			Molienda e hidrólisis		Azúcar	Fermentación y cofermentación	Purificación	Etanol, butanol			
	Sorgo dulce												
	Remolacha												
	Mandioca												
Biomasa lignocelulósica	Eucalipto	Cria (tratamientos genéticos) reducción del contenido de lignina; selección de las variedades con mayor adaptabilidad	Gasificación				Syngas	Purificación	Síntesis catalítica	Gas natural sintético			
	Sauce		Calentamiento y secado	Pirólisis	Reacciones gas - sólido					Digestión anaeróbica	Biogás	Water gas shiftreaction	Diesel Fischer-Tropsch
					Reacciones fase gas								Pirólisis flash
	Swichgrass		Física: conminución mecánica, explosión a vapor, explosión de fibra de amonío, pirólisis; Química: hidrólisis ácida y alcalina; Biológica: reacción a microbios (hongos blancos, marrones y de pudrición blanda).	Licuefacción hidrotermal		Hidrólisis				Azúcar	Fermentación y cofermentación	Purificación	
	Bermudagrass			Tratamiento hídrico y refinado					Etanol, butanol				
	Miscanthus		Tratamiento hídrico y refinado		Etanol, butanol								
Residuos	Relleno sanitario					Digestión anaeróbica	Biogás			Biogás			
	Desecho animal												

para llevar a cabo el procesamiento y a los precios obtenidos para los subproductos derivados durante el proceso de producción. En este sentido, la materia prima, es decir el aceite, constituye el 75% del costo de producción, mientras el 11% es de químicos, 2% de energía, 4% de mano de obra, 6% de depreciación y 4% de mantenimiento [8].

La producción mundial de aceite vegetal creció de forma constante entre 1995 y 2011, a un ritmo del 5% anual, hasta superar en 2007 las 128 millones de toneladas anuales. La producción mundial de aceite se encuentra repartida entre la Unión Europea (UE) y tres grandes países productores: Indonesia, Malasia y China. Entre los cuatro engloban el 56% de la producción mundial. Solo tres países americanos, Estados Unidos, Argentina y Colombia (con el 7%, 6% y 5% de la producción mundial, respectivamente), se encuentran entre los primeros siete países productores de aceite del mundo.

La palma y la soja en la producción actual de biodiésel son las fuentes principales para la producción de aceite vegetal. En lo que respecta al aceite de soja, su producción creció al mismo ritmo del 5% que la producción total de aceite, mientras que la producción de aceite de palma lo hizo a un ritmo más acelerado del 7.6% anual durante el mismo período, lo que provocó que a partir de 2005 el volumen anual producido de aceite de palma fuera superior al de soja (figura 3).

La mayor cantidad de producción de aceite de palma se encuentra concentrada en Asia (Indonesia, Malasia y Tailandia), con el 90.1%. Solo un país americano (Colombia) y uno africano (Nigeria) se encuentran entre los primeros cinco países productores de aceite del mundo, con el 1.8% y el 1.7%, respectivamente. Por su parte, la producción

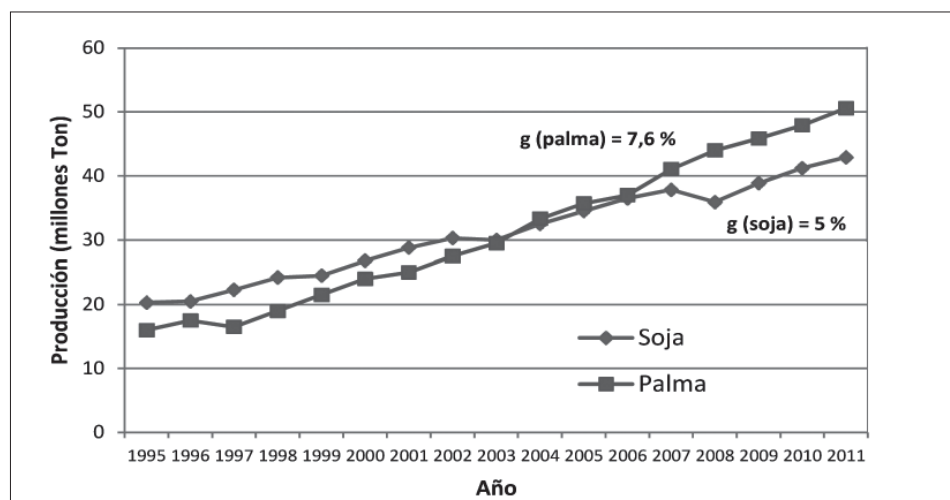


Figura 3. Producción mundial de aceite de palma y soja entre los años 1995 y 2011.
Fuente: [10].

mundial de biodiésel se mantuvo estable entre dos y tres millones de toneladas anuales, hasta 2004. En 2005, la producción aumentó hasta llegar a un nivel de 20 mil millones de litros en 2010 [12].

4. Resumen de modelos matemáticos para la gestión de cadenas

De acuerdo con la revisión realizada por [4], en los años recientes se ha notado un incremento en estudios referentes a modelos matemáticos para la gestión de cadenas de suministro (*Supply Chain Management - SCM*) de biocombustibles y afines (biomasa, bioetanol, entre otras). El país con mayor cantidad de estudios es USA, con un 38% del total de artículos revisados. Europa reporta también un 38% y el porcentaje restante, 24%, se distribuye entre el Pacífico Sur y Suramérica.

La herramienta más utilizada para la formulación de modelos matemáticos es la programación matemática y, dentro de esta, la más utilizada es la programación lineal entera mixta (MILP, por sus siglas en inglés) con un 50% de los artículos revisados. En segunda instancia, las herramientas más utilizadas son la simulación y dinámica de sistemas con un 31% de artículos revisados.

El diseño y gestión de la cadena es el objetivo utilizado con mayor frecuencia en los modelos de SCM evaluados (35% del total de artículos revisados). En segunda instancia se encuentran modelos con objetivos varios (Otros) los cuales corresponden a análisis y cuantificación de variables en las cadenas productivas (tabla II). Las características y variables de decisión de los modelos evaluados incluyen variables relacionadas con el flujo de las materias primas a través de la red [4].

Tabla II. Resumen de modelos matemáticos para la gestión de cadenas de suministro, según [4]

Objetivo	Herramienta							Total
	DP	IBSAL	LP	MILP	MISP	Simulación	DS	
Diseño		2		1				3
Diseño y gestión				7	1	1		9
Gestión			1	2				3
Programación cosechas				3		1		4
Otros	1					2	4	7
Total	1	2	1	13	1	4	4	

DP: Programación dinámica
 IBSAL: Logística y análisis de la cadena de biomasa integrada (Integrated Biomass Supply Analysis and Logistics)
 LP: Programación lineal
 MILP: Programación lineal entera mixta
 MISP: Programación estocástica entera mixta
 DS: Dinámica de sistemas

Fuente: [4].

5. Levantamiento de información para la formulación del modelo

Colombia es el primer productor en América y el cuarto en el mundo. Como fortaleza tiene el gremio Fedepalma, creado en 1962. La palma se introdujo en el país en 1932 y fue sembrada con fines ornamentales en la estación agrícola de Palmira (Valle del Cauca). El cultivo comercial solo comenzó en 1945 cuando se estableció una plantación en el departamento de Magdalena [13]. La expansión del cultivo mantuvo un crecimiento sostenido. “A mediados de los años sesenta, existían 18 mil hectáreas en producción y en 2011 alcanzó un área de siembra de 427 mil hectáreas, aproximadamente, de las cuales 62.5% se encontraba en estado de producción y 37.5% en fase de desarrollo” [13]. En la figura 4 se muestra la evolución de área productiva y área en desarrollo. La producción de aceite de palma se distribuye en cuatro zonas productivas, como se muestra en la figura 5.

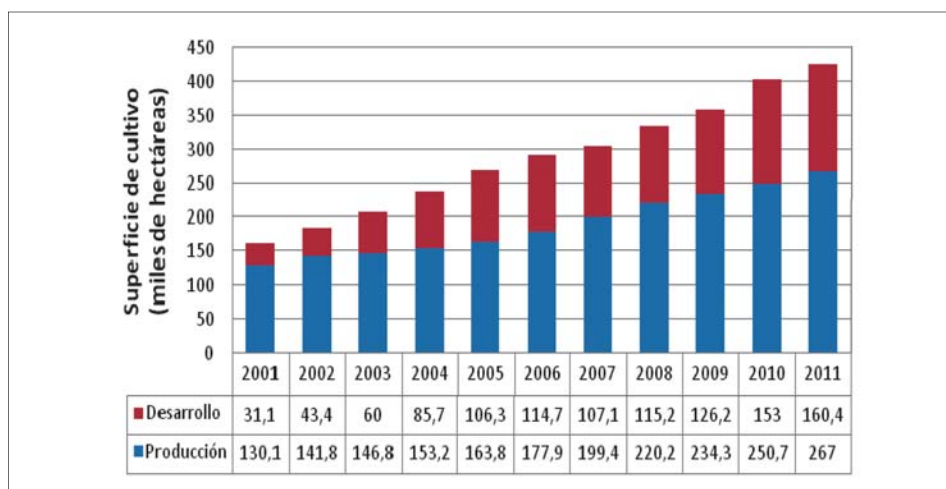


Figura 4. Evolución de la superficie de cultivo de palma aceitera en Colombia.
Fuente: [13].

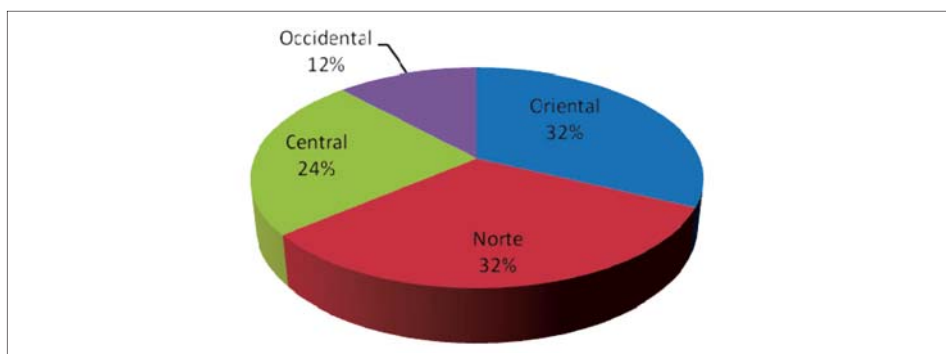


Figura 5. Distribución de la superficie de cultivo de palma aceitera en Colombia.
Fuente: [13].

Tabla III. Rendimiento de las principales fuentes vegetales por tipo de cultivo			
Cultivo	Rendimiento (l/ha-año)	Rendimiento (gal/ha-año)	Empleos agric+ind/ha-año
Palma	5.550	1.446	0,27
Cocotero	4.200	1.110	0,52
Higuerilla	2.600	687	0,64
Aguacate	2.460	650	0,51
Jatropha	1.559	412	0,30
Colza	1.100	291	0,40
Maní	990	262	0,40
Soya	840	222	0,37
Girasol	890	235	0,40

Fuente: [8].

En Colombia la principal fuente de aceite es la palma aceitera africana. Sin embargo, existen otros ocho cultivos que pueden proveer aceite para la fabricación de biodiésel: coco, higuerilla, aguacate, jatropha, colza, maní, girasol y soya. En la tabla III se muestran los posibles rendimientos de algunas fuentes potenciales de aceite como materia prima para la elaboración de biodiésel.

La producción de aceite de palma ha crecido de forma constante desde 1995, pero es desde el 2004 cuando la tasa de crecimiento se duplica del 4% al 8% promedio anual, marcando el inicio de una nueva tendencia creciente de la producción. El incremento de la producción de aceite de palma se muestra en la figura 6.

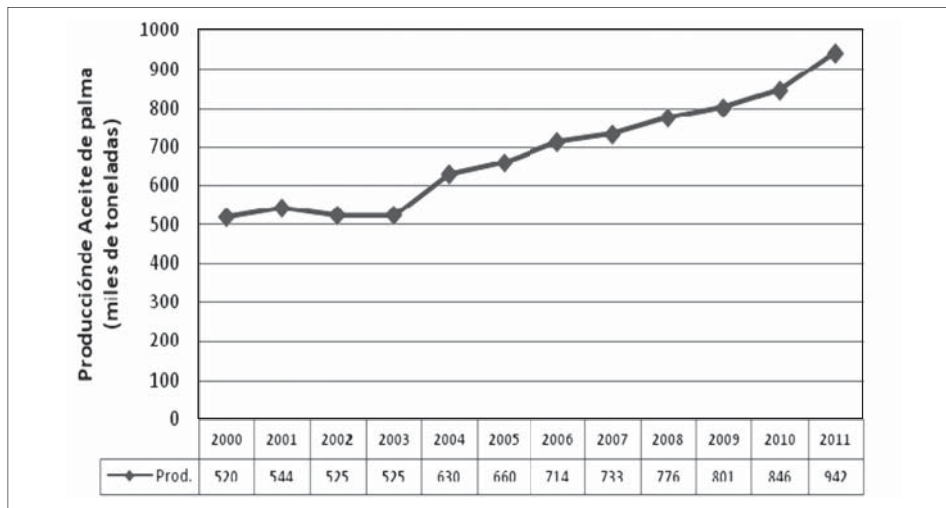


Figura 6. Evolución de la producción de aceite de palma en Colombia.

Fuente: [13].

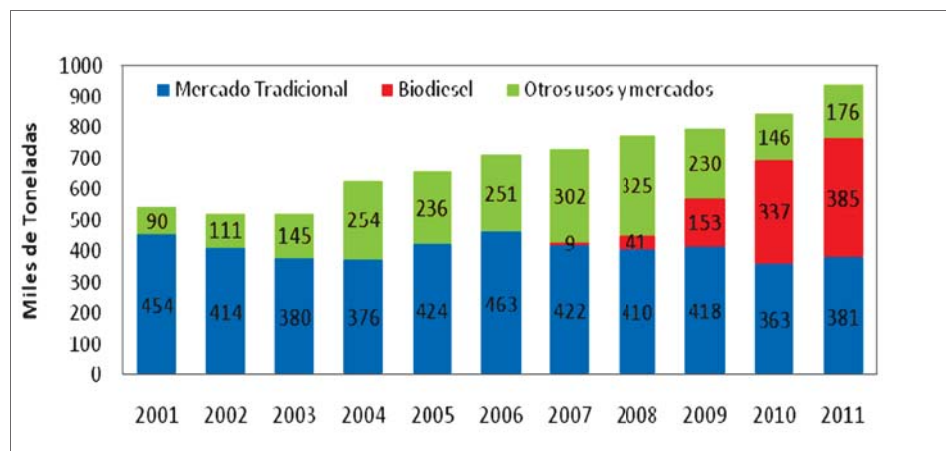


Figura 7. Usos de la producción nacional de aceite de palma.
Fuente: [13].

Se puede observar que entre los años 2004 (año de inicio de la nueva tendencia de crecimiento) y 2011 el incremento anual promedio de la producción de aceite de palma fue de 52 000 toneladas. Los productos de la palma se utilizan en la industria agroalimentaria, la industria química, en la cosmética y en la alimentación animal. Respecto al aceite de palma, su uso industrial se dirige principalmente hacia el mercado tradicional (descrito anteriormente) y el mercado de los biocombustibles. En la figura 7 se presenta la distribución de los destinos de aprovechamiento del aceite de palma.

En Colombia se observa una tendencia favorable para los productores de biocombustibles en cuanto a la legislación y a las políticas que los rigen [14]. En 2011, se produjeron 442 000 toneladas de biodiésel constituyéndose en el principal mercado local para el aceite de palma. Las plantas de refinación de biodiésel y sus capacidades se presentan en la tabla IV. Adicionalmente, existen dos plantas de una producción mucho menor: una en Tumaco (Nariño), con una capacidad de 3 000 litros/día, y otra en Zulia (Norte de Santander), con una capacidad de 20 000 litros/día.

La producción de biodiésel en Colombia se presenta en la figura 8. Como se observa, comienza en 2008 y su nivel ha aumentado hasta superar las 440 000 toneladas en 2011. Para 2012, la producción se estima en más de 500 000 toneladas. También, es relevante la clara intención gubernamental por ganar mercado y competitividad en el campo internacional. Sin embargo, se evidencian los conflictos entre las políticas agrícolas y las de biocombustibles.

Los cultivos de palma africana, las plantas de extracción de aceite y las biorrefinerías se encuentran distribuidas en cuatro zonas del país: norte, centro, oriente y suroccidente. La zona con la mayor área de cultivos es la zona oriente con 170 662 hectáreas. A su vez, esta zona cuenta con 22 plantas de extracción de aceite y tres plantas de refinamiento.

Tabla IV. Capacidad de producción de biodiésel por empresa en Colombia

Región	Empresa	Capacidad (t/año)	Capacidad (l/día)	Área Sembrada (Ha) *	Empleos Directos	Empleos Indirectos	Fecha Entrada Operación
Norte, Codazzi	Oleoflores	60 000	53 095	16 251	2 739	5 478	Ene-08
Norte, S/ta Marta	Bioc. Sost. del Caribe	100 000	92 384	28 277	4 766	9 532	Mar-09
Norte, B/quilla	Romil de la Costa	10 000	-	-	-	-	-
Norte, Galapa	Biodiésel de la Costa	10 000	-	-	-	-	-
Norte, C/ta Marta	Odin Energy	36 000	-	-	-	-	-
Norte, B/quilla	Clean Energy	36 000	-	-	-	-	-
Central, B/bermeja	Ecodiésel de Col.	115 000	112 461	34 422	5 828	11 67	Jun-08
Oriental, Faca	Bio d	115 000	112 461	34 222	5 801	11 603	Feb-09
Oriental, San Carlos	Aceites Manuelita	120 000	119 067	36 444	6 142	12 285	Jul-09
Oriental, Castilla	Biocastilla	15 000	-	-	-	-	-
Total		617 000	489:468	149 616	25 276	50:555	

* Las cifras del área sembrada son tomadas del Sistema de Información del Sector Palmero (SISPA).
Fuente: [13].

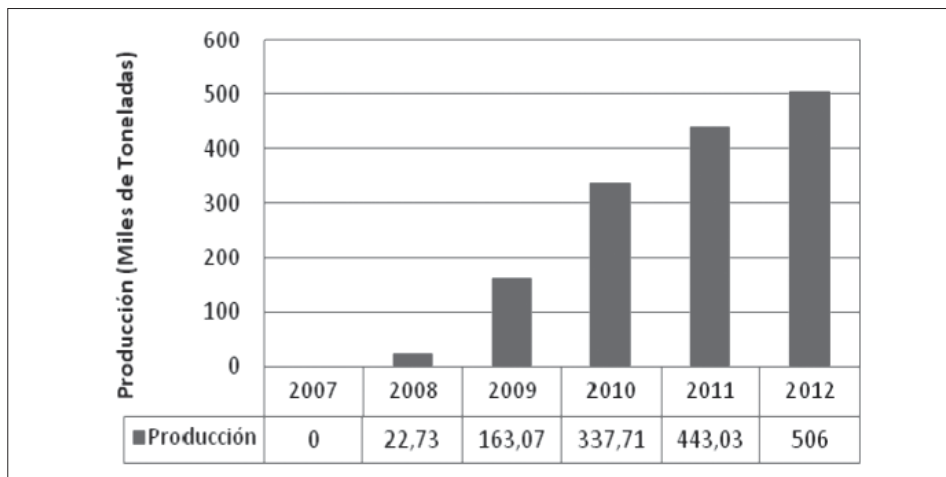


Figura 8. Producción de biodiésel en Colombia.
Fuente: [10].

La segunda zona con mayor área de cultivos de palma es la zona centro, la cual cuenta con 132 530 hectáreas, 14 plantas de extracción y 6 biorrefinerías. En tercer lugar se encuentra la zona centro con 129 112 hectáreas de cultivo, 6 extractoras cercanas y una biorrefinería. Por último, la zona suroccidente tiene 20 131 hectáreas de cultivo y extractora sin biorrefinería. En la figura 9 se presentan la ubicación de cultivos, extractoras y biorefinerías actuales.

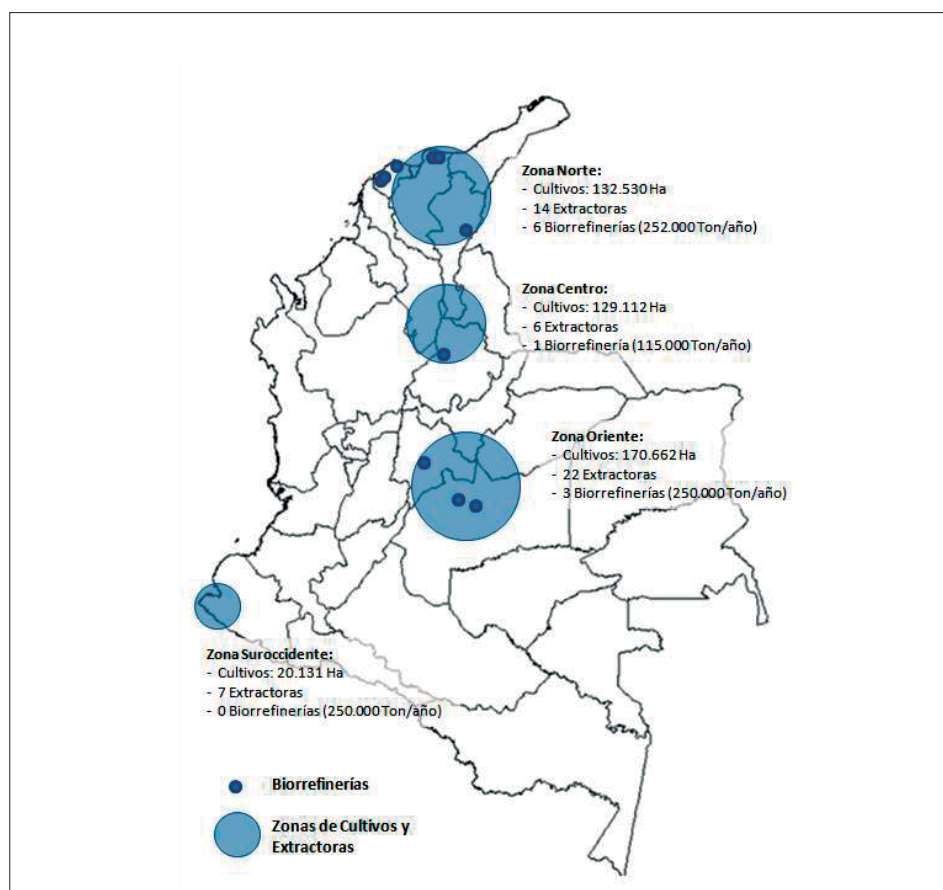


Figura 9. Distribución de los cultivos, extractoras y biorrefinerías. Fuente: Los autores.

Los cultivos de palma africana en cada zona del país pueden dividirse en áreas de producción, siendo estas las que tienen producción actualmente y áreas en desarrollo, las cuales son entendidas como cultivos que aún no han iniciado su periodo productivo. En la tabla V se presenta la producción actual y la esperada por proyectos en desarrollo.

Tabla V. Hectáreas cultivadas de palma de aceite			
Zona	Hectáreas		
	Producción	Desarrollo	Total
Norte	100 273	32 257	132 530
Centro	81 631	47 481	129 112
Oriente	113 820	56 842	170 662
Suroccidente	4 229	15 902	20 131

Fuente: [15].

Tabla VI. Capacidades por zonas de las biorrefinerías en Colombia					
Zona	N°	Biorrefinerías	Ubicación	Capacidad (Ton B100/Año)	Total (Ton B100/Año)
Norte	1	Oleoflores	Codazzi	60 000	252 000
	2	Biocomb. Sost. Del Caribe	Santa Marta	100 000	
	3	Romil de la Costa	Barranquilla	10 000	
	4	Biodiésel de la Costa	Gálapa	10 000	
	5	Odín Energy	Santa Marta	36 000	
	6	Clean Energy	B/quilla	36 000	
Centro	7	Ecodiésel	B/bermeja	115 000	115 000
Oriente	8	Bio D	Facatativá	115 000	250 000
	9	Manuelita	San Carlos	120 000	
	10	Biocastilla	Castilla	15 000	

Fuente: [13].

En la tabla VI se presentan las capacidades de las refinerías actuales y las capacidades por zona. La zona norte tiene una capacidad total de 252 000 toneladas de biodiésel por año, conformada por 6 biorrefinerías, mientras la zona oriente tiene una capacidad similar, de 250 000 toneladas por año, pero conformada solo por 3 biorrefinerías. La zona centro cuenta con una sola planta de refinamiento, con una capacidad de 115 000 toneladas por año, y en la zona suroccidente no hay biorrefinerías actualmente, por tanto, se considera de capacidad cero.

Tabla VII. Productividad en toneladas por año por zona	
Zona	Ton Rff/Ha-Año
Norte	16.97
Centro	15.07
Oriente	14.67
Suroccidente	14.17

Fuente: [13].

Cada una de las zonas tiene una productividad de palma por hectárea, determinada por las condiciones naturales y la edad de los cultivos. La productividad en toneladas de racimos de fruta fresca (RFF) por hectárea por año se presenta en la tabla VII. Adicionalmente, una tonelada de racimo de fruta fresca de palma rinde en promedio 0.958 toneladas de aceite y una tonelada de aceite rinde en promedio 0.203 toneladas de biodiésel puro (B100) [16].

El porcentaje promedio de mezcla de biodiésel-diésel de petróleo es diferente en diferentes zonas de Colombia. En la tabla VIII se presenta el porcentaje de mezcla que aplica para cada departamento.

Tabla VIII. Porcentaje de mezcla biodiésel-diésel por departamento	
Departamento	Porcentaje
Guajira	2
Norte de Santander	
Arauca	
Vichada	
Guainía	
Boyacá	8
Cundinamarca	
Casanare	
Meta	
Guaviare	
Vaupés	
Demás departamentos	10

Fuente: [13].

En el modelo matemático se consideran las plantas de mezclado de todo el país, sumando un total de 30 mezcladoras. Estas plantas se distribuyen en siete regiones: norte, noreste, noroeste, suroeste, eje cafetero, centro-oriente y Tolima Grande. En la tabla IX se muestra la distribución de la demanda de combustible diésel por mezcladora y región. Adicionalmente, se considera el porcentaje de demanda que es abastecido por importación que es del 5.5%.

Adicionalmente, se considera un punto de demanda en Barrancabermeja (para un total de 31 puntos de mezcla) donde se realiza una mezcla de diésel con un 2% de biodiésel antes de ser enviado por el poliducto a los demás puntos de mezcla conectados. A este punto se le excluyen las

Tabla IX. Distribución de la demanda por mezcladora			
Región	Mezcladora	Porcentaje Demanda	Total
Norte (Costa Atlántica)	Cartagena	8.40 %	21.80 %
	Galapa (Atlántico)	1.90 %	
	San Andrés	0.10 %	
	Siape (B/quilla)	1.90 %	
	Baranoa (Atlántico)	1.00 %	
	Magangué (Bolívar)	1.40 %	
	Sitio nuevo (Magdalena)	2.70 %	
	La Gloria (Cesar)	4.50 %	
Noreste	Girón	1.10 %	3.20 %
	Chimita	1.10 %	
	B/bermeja	1.10 %	

Noroeste (Antioquia)	Medellín	3.60 %	10.90 %
	La Pintada	1.20 %	
	Rionegro	1.20 %	
	Sebastopol	1.20 %	
	Girardota	1.20 %	
	Turbo	2.40 %	
Suroeste	Guadalajara de Buga	5.90 %	17.70 %
	Yumbo	5.90 %	
	Cartago	3.00 %	
	B/ventura	3.00 %	
Eje Cafetero	Pereira	2.20 %	3.30 %
	Manizales	1.10 %	
Centro-oriente	Bogotá	12.00 %	30.30 %
	Facatativá	17.90 %	
	San José del guaviare	0.40 %	
Tolima Grande	Puerto Asís	1.90 %	7.30 %
	Neiva	3.20 %	
	Gualandai - coello	1.70 %	
	Mariquita	0.60 %	
Importación		5.50 %	5.50 %
Total		100.00 %	100.00 %

Fuente: [13].

demandas de Cartagena, San Andrés y Barranquilla, dado que se abastecen de diésel de petróleo desde otra fuente. La adición del biodiésel restante para completar la mezcla final se realiza directamente en las mezcladoras.

En la figura 10 se presenta la distribución del territorio colombiano en las regiones definidas en la tabla anterior y la ubicación de las mezcladoras. La región denominada “otros” está conformada por departamentos donde no hay mezcladoras y sus estaciones de servicio son abastecidas por mezcladoras de otras zonas. La única mezcladora de la región “otros” es la del San José del Guaviare, pero, dada su cercanía con la zona “centro”, su demanda es considerada dentro de esta zona, dejando la zona “otros” con una demanda de cero y, por tanto, no es considerada en el modelo matemático.

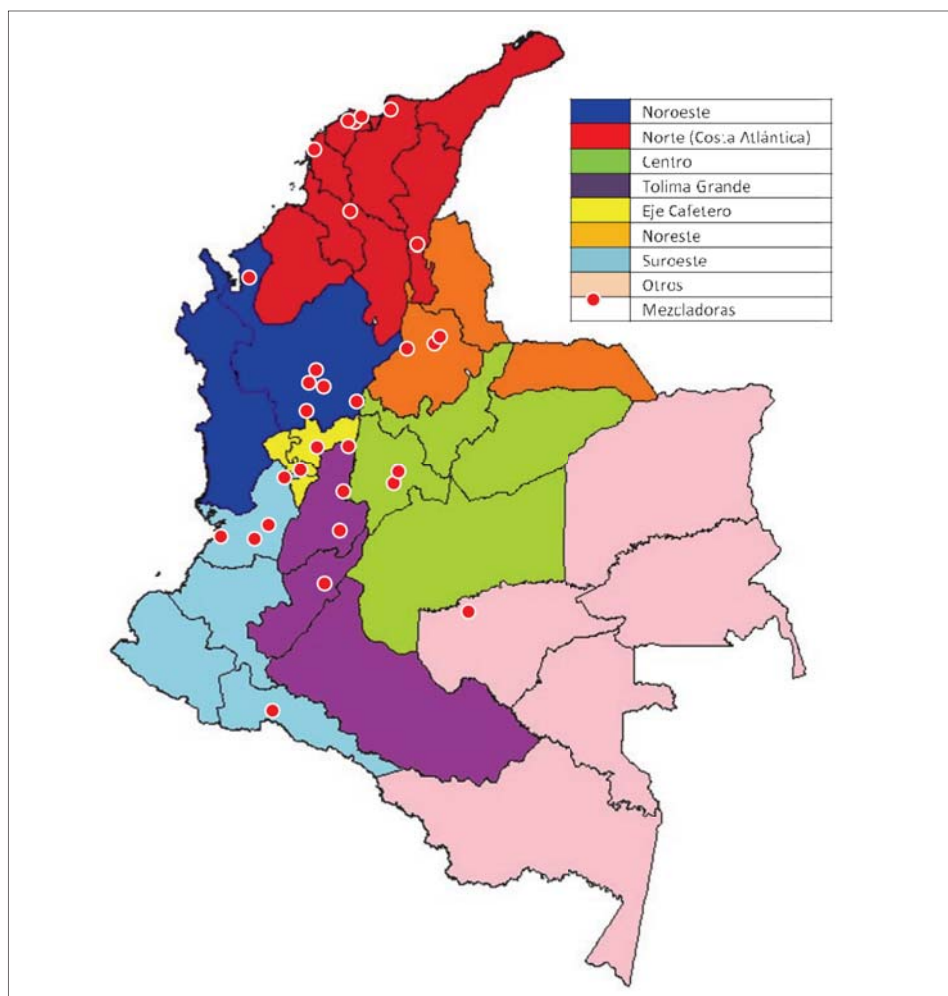


Figura 10. Ubicación mezcladoras y regiones de demanda.
Fuente: los autores.

Para la proyección de la demanda de diésel en Colombia se tomó la realizada por [10]. En esta proyección los datos se tomaron a partir de cálculos realizados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), para los veinte primeros años. Esta proyección de demanda de combustibles líquidos combina modelos de series de tiempo, econométricos y de optimización. Su aplicación está asociada a la dinámica de su consumo, disponibilidad de información y la prospectiva de desarrollo del mercado de cada energético. Para los siguientes 10 años, [10] aplicó el método de pronóstico de “suavización exponencial con tendencia”, buscando los parámetros que generan un menor error medio cuadrático. En la figura 11 se presenta la proyección de la demanda de biodiésel en Colombia. Seguidamente, se presenta la formulación del modelo matemático.

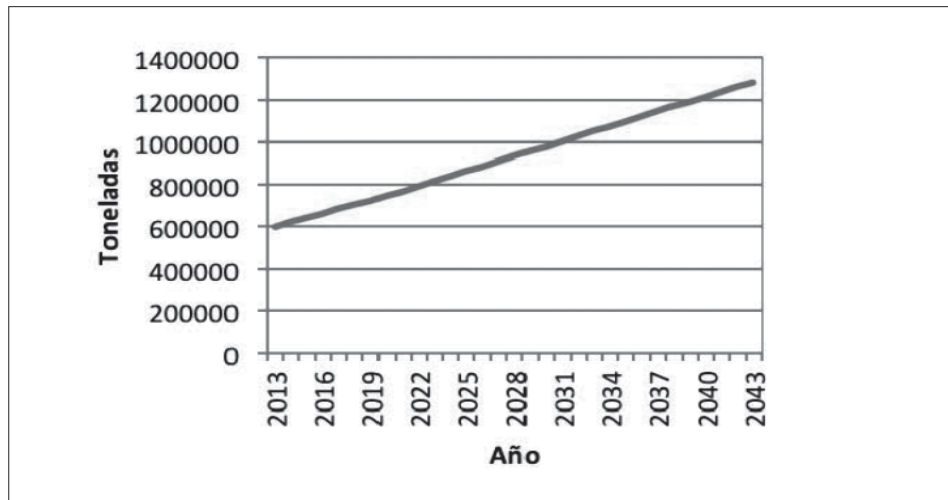


Figura 11. Proyección de la demanda del biodiesel.
Fuente: [10].

6. Modelo matemático

La cadena considerada en el modelo está conformada por cuatro eslabones: zonas de cultivos, extractoras, biorrefinerías y mezcladoras, desde las cuales se abastecen todos los puntos de consumo. Cada zona de cultivo tiene su factor de rendimiento en toneladas de fruto de palma por hectárea por año y puede enviar palma a extractoras de cualquier otra zona. Asimismo, las extractoras pueden enviar aceite de palma a cualquier biorrefinería y desde estas enviar biodiésel a todas las mezcladoras. En cada eslabón de la cadena se considera el factor de conversión de unidades correspondiente.

El modelo propuesto es un modelo de programación lineal entera mixta y determina cuál debería ser el flujo de productos o subproductos, inventarios y capacidades requeridas en cada eslabón de la cadena por periodo durante el horizonte de planeación definido. El modelo también establece un plan de ampliación de capacidad de las biorrefinerías, el cual consta de definir en qué momento se debe instalar una planta de determinada capacidad en cada zona. Se considera que la instalación de una planta de cierta capacidad es equivalente a ampliar una planta ya existente en la misma cantidad.

El objetivo del modelo es minimizar el costo total de la cadena durante un horizonte de planeación. El costo total incluye: el costo de transporte de palma, aceite y biodiésel entre los eslabones de la cadena; el costo de mantenimiento de inventario; los costos de mantenimiento de los cultivos y los costos fijos de instalación de capacidad de las biorrefinerías, incluyendo el costo de uso del capital invertido. La notación utilizada para el modelo se presenta a continuación.

A. Índices

- t : Año.
 m : Mezcladoras.
 l : Biorrefinerías.
 k : Extractora de aceite.
 j : Cultivo.
 n : Tipo (capacidad) de biorrefinería.
 p : Palma.
 a : Aceite.
 b : Biodiésel.
 d : Diésel mezcla.

B. Parámetros

- D_{mt} : Demanda de diésel de la mezcladora m en el año t (toneladas).
 f_j^{hp} : Factor de rendimiento (tonelada de fruto de palma / hectárea) en el cultivo j .
 f^{pa} : Factor de conversión de palma a aceite (tonelada de aceite / tonelada de palma).
 f^{ab} : Factor de rendimiento de aceite a biodiésel (tonelada de biodiésel / tonelada de aceite).
 f_{mt}^{bd} : Factor de rendimiento de biodiésel a diésel en la zona atendida por la mezcladora m el año t (toneladas de diésel / tonelada de biodiésel).
 CT_{jkt}^p : Costo de transporte de palma desde el cultivo j hasta la extractora k en el año t por tonelada.
 CT_{mlt}^a : Costo de transporte de aceite desde la extractora k hasta la biorrefinería l el año t por tonelada.
 CT_{mlt}^b : Costo de transporte de biodiésel desde la biorrefinería l hasta la mezcladora m en el año t por tonelada.

Cd_{l0}^b : Capacidad de producción inicial (en toneladas por año) de la biorrefinería l .

CF_n^b : Costo fijo de instalación de una biorrefinería tipo n .

Ck : Costo de uso del capital.

Inc_n : Incremento de la capacidad por la instalación de una planta tipo n .

h_t^p : Costo de mantener en inventario una tonelada de palma durante el año t .

h_t^a : Costo de mantener en inventario una tonelada de aceite durante el año t .

h_t^b : Costo de mantener en inventario una tonelada de biodiésel durante el año t .

h_t^d : Costo de mantener en inventario un galón de diésel durante el año t .

C. Variables

X_{jt}^p : Cantidad de palma cosechada en el cultivo j en el periodo t (toneladas).

Q_{jkt}^p : Cantidad de palma transportada del cultivo j a la extractora k en el año t (toneladas).

Q_{kl}^a : Cantidad de aceite transportado de la extractora k a la biorrefinería l en el año t (toneladas).

Q_{lm}^b : Cantidad de biodiésel transportado de la refinería l a la mezcladora m en el año t (toneladas).

I_{jt}^p : Nivel de inventario de palma en el cultivo j al final del año t (toneladas).

I_{kt}^a : Nivel de inventario de aceite en la extractora k al final del año t (toneladas).

I_{lt}^b : Nivel de inventario de biodiésel en la biorrefinería l al final del año t (toneladas).

I_{mt}^d : Nivel de inventario de diésel en el mezcladora m al final del año t (toneladas).

Cr_{jt}^p : Capacidad requerida (en hectáreas) en el cultivo j en el periodo t .

Cr_{kt}^a : Capacidad requerida (en toneladas de aceite por año) en la extractora k en el periodo t .

Cr_{lt}^b : Capacidad requerida (en toneladas de biodiésel por año) en la biorrefinería l en el periodo t .

Cd_{lt}^b : Capacidad disponible (en toneladas de diésel por año) en la biorrefinería l en el periodo t .

Cr_{mt}^d : Capacidad requerida (en toneladas de biodiésel por año) en la mezcladora m en el periodo t .

Z_{lm} : 1 si se instala una planta biorrefinadora tipo (de tamaño) n en la zona l en el periodo t ; 0 de lo contrario.

$IAcum_t$: Inversión acumulada en instalación de capacidad de biorrefinerías hasta el periodo t .

D. Función objetivo

La función objetivo del modelo de programación lineal entera mixta se presenta en la ecuación (1).

$$\begin{aligned} \min \text{Costo} = & \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T CT_{jkt}^p Q_{jkt}^p + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T CT_{klt}^a Q_{klt}^a + \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T CT_{lmt}^b Q_{lmt}^b \\ & + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T h_t^p I_{jt}^p + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T h_t^a I_{kt}^a + \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T h_t^b I_{lt}^b + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T h_t^d I_{mt}^d \\ & + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CO^p Cr_{jt}^p + \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N CF_n^b Z_{lm} + \sum_{t=1}^T IAcum_t Ck \end{aligned} \quad (1)$$

En los primeros tres términos de la función objetivo (primer renglón) se calcula el costo total de transporte. Este costo corresponde a la multiplicación de la cantidad total transportada de palma, aceite y biodiésel por su costo correspondiente por tonelada. Los siguientes cuatro términos (segundo renglón) calculan el costo de mantenimiento del inventario, el cual resulta de la multiplicación del nivel de inventario de palma, aceite, biodiésel y diésel mezcla por el costo de mantenimiento del inventario de cada uno. El siguiente término calcula el costo de mantener los cultivos por hectárea por la cantidad de hectáreas requeridas en cada zona. Los siguientes dos términos hacen referencia a los costos fijos de instalación de capacidad de las biorrefinerías y al costo de capital asociado a esos costos de instalación.

E. Restricciones

1) Restricciones de balance de masa y demanda

$$X_{jt}^p + I_{j(t-1)}^p = \sum_{l=k}^K (Q_{jkt}^p) + I_{jt}^p \quad \forall j, \forall t \quad (2)$$

$$f^{pa} \sum_{j=1}^J (Q_{jkt}^p) + I_{k(t-1)}^a = \sum_{l=1}^L (Q_{klt}^a) + I_{.tk}^a \quad \forall k, \forall t \quad (3)$$

$$f^{ab} \sum_{k=1}^K (Q_{klt}^a) + I_{l(t-1)}^b = \sum_{m=1}^M (Q_{lmt}^b) + I_{lt}^b \quad \forall l, \forall t \quad (4)$$

$$f^{bd} \sum_{l=1}^L (Q_{lmt}^b) + I_{m(t-1)}^d = D_{mt} + I_{mt}^d \quad \forall m, \forall t \quad (5)$$

2) Restricciones de Capacidad

$$X_{jt}^p \leq f_j^{hp} Cr_{jt}^p \quad \forall j, \forall t \quad (6)$$

$$f^{pa} \sum_{j=1}^J (Q_{jkt}^p) \leq Cr_{kt}^a \quad \forall k, \forall t \quad (7)$$

$$f^{ab} \sum_{k=1}^K Q_{klt}^a \leq Cd_{lt}^b \quad \forall l, \forall t \quad (8)$$

$$f^{bd} \sum_{l=1}^L (Q_{lmt}^b) \leq Cr_{mt}^d \quad \forall m, \forall t \quad (9)$$

3) Incremento de capacidad e inversión asociada

$$Cd_{lt}^b = Cd_{lt-1}^b + \sum_{n=1}^N Inc_n Z_{lm} \quad \forall l, \forall t \quad (10)$$

$$IAcum_t = IAcum_{t-1} + \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N FC_n^b Z_{lm} \quad \forall t \quad (11)$$

La ecuación (2) representa al balance de masa en los cultivos, donde la cantidad cosechada menos la variación en inventario es igual a la cantidad transportada a las extractoras. Las ecuaciones (3) y (4) corresponden a las ecuaciones de balance de masa en las extractoras y biorrefinerías, donde la cantidad recibida por el factor de conversión menos la variación en inventario es equivalente a la cantidad transportada al eslabón siguiente. La ecuación (5) define el balance de masa en las mezcladoras y asegura el cumplimiento de la demanda. En esta restricción la cantidad de biodiésel que llega a cada mezcladora, por el factor de conversión a diésel mezcla, menos la variación en inventario es equivalente a la demanda de dicha mezcladora.

Por otra parte, las ecuaciones de (6) a (9) aseguran que la cantidad procesada en cada cultivo, extractora, biorrefinería o mezcladora no exceda su capacidad disponible. Para el caso de los cultivos, extractoras y mezcladoras se define la capacidad que requiere cada una de estas en cada periodo de tiempo.

La ecuación (10) define la capacidad disponible de las biorrefinerías en cada periodo, la cual depende de la activación, o no, de las variables binarias de instalación de plantas. Por último, la ecuación (11) va acumulando la inversión en ampliaciones de capacidad realizadas hasta cada periodo.

6. Resultados

El modelo se aplicó a la cadena productiva de biodiésel de Colombia considerando las cuatro zonas de cultivos y de plantas de extracción presentes, las tres zonas donde se hace la producción del biodiésel y los 31 puntos de mezcla definidos en todo el territorio. Los resultados por categorías de variables se presentan a continuación.

A. Niveles de producción

El plan de producción de palma, aceite, biodiésel y diésel mezcla para cubrir el total de la demanda nacional de biodiésel se presenta en las figuras 12, 13, 14 y 15, respectivamente. Los resultados del modelo de optimización muestran que la zona suroccidente no debe tener producción de palma ni aceite para la obtención de biodiesel, dado que resulta más económico que las mezcladoras cercanas a esta zona sean abastecidas por la zona oriental.

En la figura 12 se observa que la producción de palma para el 2013 era aproximadamente de 3 000 000 toneladas por año y que en el año 2043 la producción deberá duplicarse (llegar a 6 232 400 toneladas por año) para poder cubrir la demanda. La zona con mayor requerimiento de palma es la zona oriente, con un porcentaje promedio del 44% de la producción total, seguido de la zona centro con una participación del 34.3%

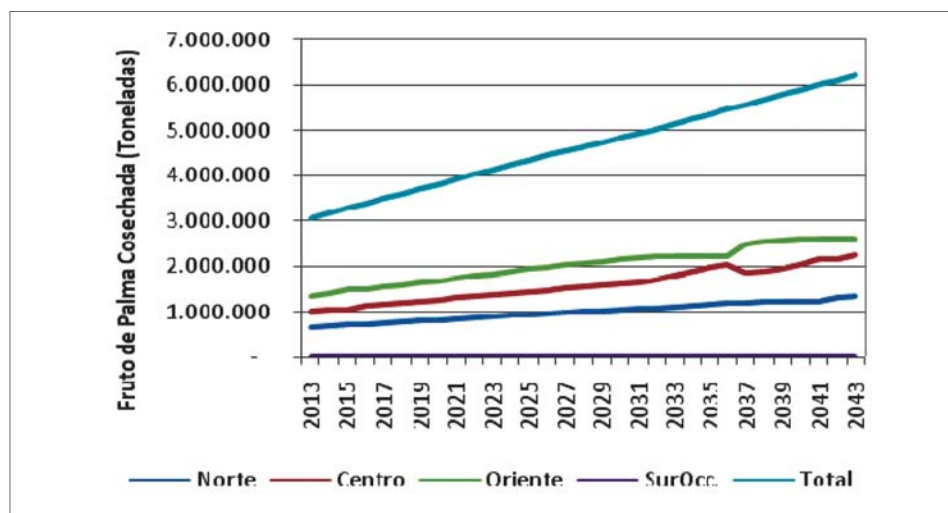


Figura 12. Cantidad total cosechada y por zona.
Fuente: los autores.

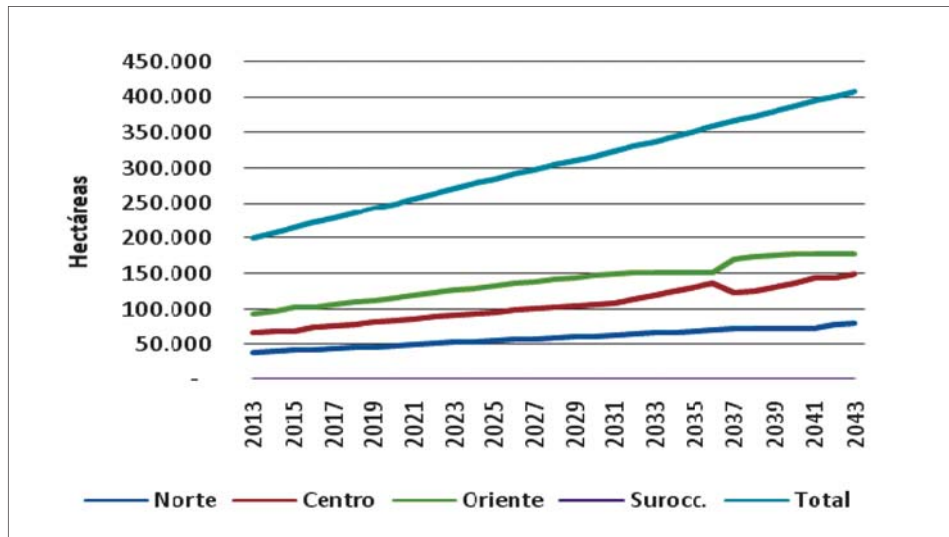


Figura 13. Capacidad requerida de hectáreas en total y por zonas.
Fuente: los autores.

y, posteriormente, la zona norte con un porcentaje del 21.7%. La producción de palma requerida en la zona suroccidental es cero.

La extensión de cultivos para producción de palma requeridos para 2043 alcanza el nivel de 408 154 hectáreas. Los porcentajes de participación promedio de las zonas norte, centro, oriente y suroccidente son: 19.6%, 34.7%, 45.7% y 0%, respectivamente.

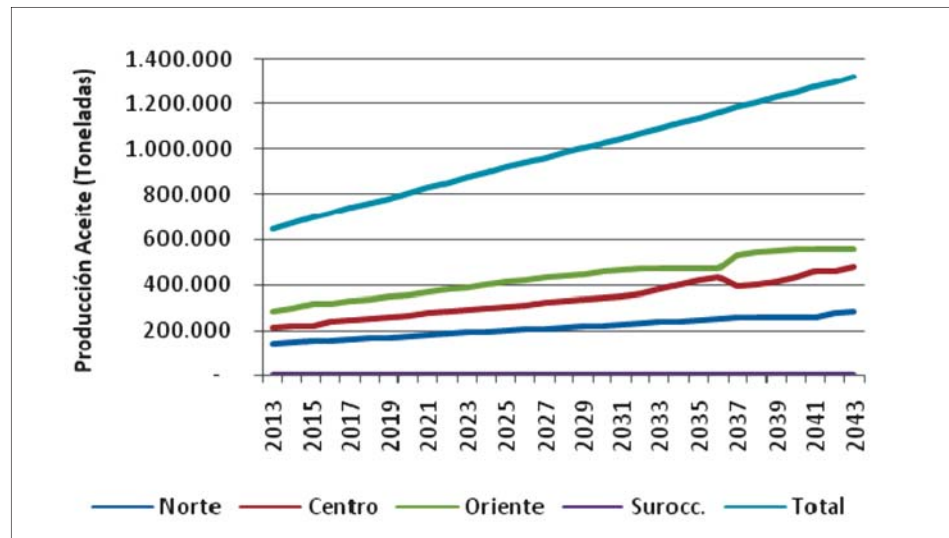


Figura 14. Producción total de aceite de palma y por zona.
Fuente: los autores.

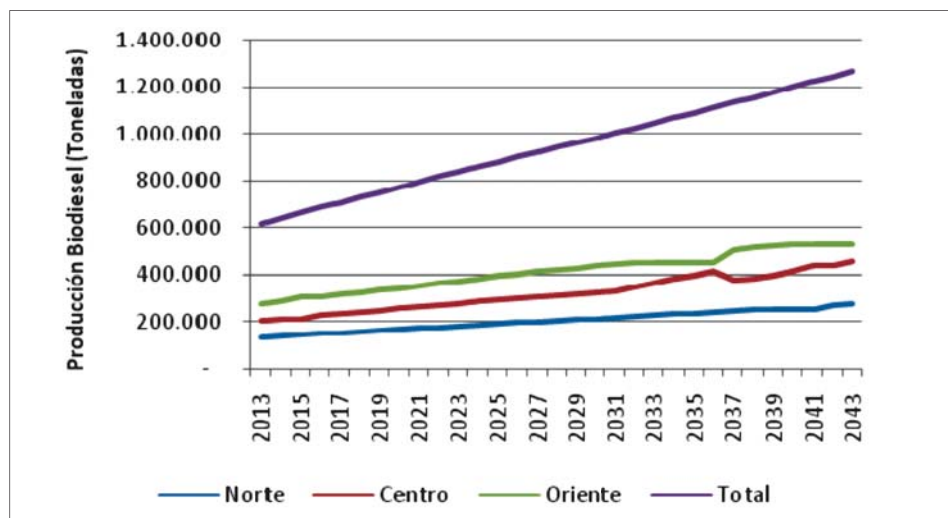


Figura 15. Producción total de biodiésel de palma de aceite y por zona.
Fuente: los autores.

La producción de aceite de palma dirigido a la producción de biodiésel en 2043 alcanza el nivel de 1 321 260 toneladas y los porcentajes de participación de las zonas son comparables a los de producción de palma; 21.7%, 34.3%, 44% y 0% para las zonas norte, centro, oriente y suroccidente, respectivamente.

La producción de aceite de biodiésel en 2043 alcanza el nivel de 1 265 764 toneladas y los porcentajes de participación de las zonas son iguales a la de producción de palma y aceite; 21.7%, 34.3%, 44% y 0% para las zonas norte, centro, oriente y suroccidente, respectivamente.

Cabe señalar que en las figuras 12, 13, 14 y 15 se observa que la producción de palma, aceite, biodiésel y diésel crece de manera constante a lo largo del horizonte de planeación, con excepción de algunos años alrededor del año 2035.

B. Plan de ampliación de capacidad

En la tabla X se presenta el año en que debe instalarse una planta y la capacidad de dicha planta (se presentan únicamente los años donde hay incremento de capacidad). Estos valores también pueden considerarse como la capacidad a ampliar en las plantas ya existentes.

A continuación, se presentan las capacidades disponibles y la producción en cada zona de producción. Los incrementos en la capacidad instalada corresponden a la ampliación de la capacidad de plantas existentes o a la instalación de biorrefinerías nuevas (figuras 16, 17 y 18).

Tabla X. Plan de ampliación de capacidad por zonas			
Año	Ampliación (ton/año)		
	Norte	Centro	Oriente
2013		100	100
2016		60	
2021			100
2022		100	
2034		60	
2037			80
2040		40	
2042	60		

Fuente: los autores.

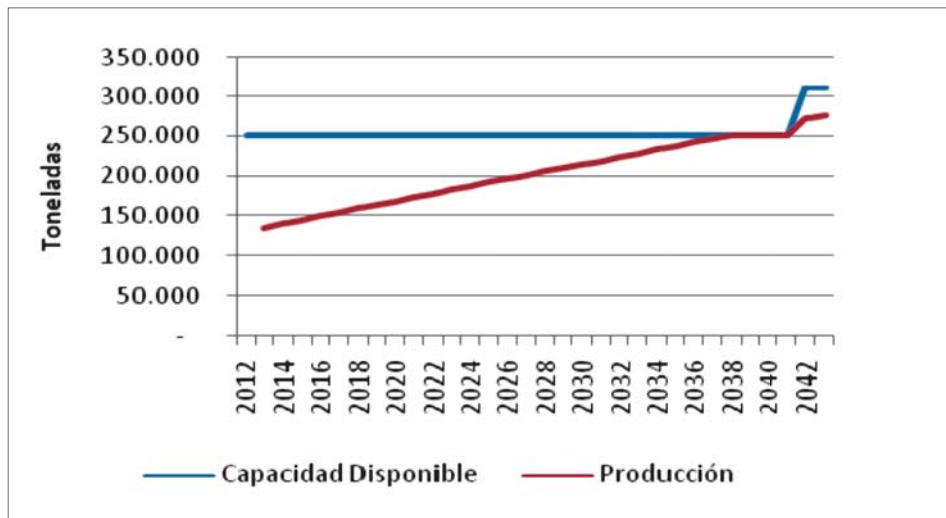


Figura 16. Capacidad disponible y producción de biodiésel en la zona norte.

Fuente: los autores.

La capacidad actual de las biorrefinerías en la zona norte es de 252 000 toneladas por año y esa capacidad es suficiente para cubrir la demanda nacional hasta 2038. A partir de este año, y hasta el 2042, la zona norte deberá ceder parte de su mercado, pues solo hasta ese momento la demanda aumentará lo suficiente como para justificar la creación o ampliación de una planta biorrefinadora en 60 000 toneladas.

La zona centro tiene una capacidad actual de 115 000 toneladas por año, pero la demanda actual de la zona justifica el aumento inmediato de la capacidad en 100 000 toneladas, y el aumento progresivo de esta hasta alcanzar una capacidad de 475 000 toneladas en el año 2040. Adicionalmente, en la figura se observa una tasa de crecimiento mayor entre los años 2032 y 2036, y una reducción de la producción en el 2037.

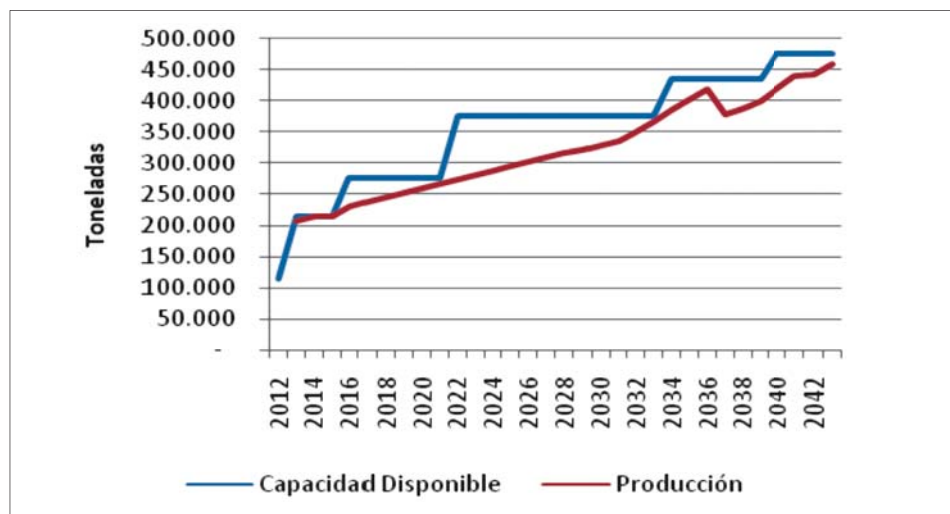


Figura 17. Capacidad disponible y producción de biodiésel en la zona centro.
Fuente: los autores.

La zona oriente tiene una capacidad actual de 250 000 toneladas de biodiésel por año; sin embargo, a la fecha requiere una ampliación de 100 000 toneladas, y para 2021 y 2037 requerirá ampliaciones de 100 000 y 80 000 toneladas por año, respectivamente. Durante los años 2032 y 2036 la producción no crece debido a que se llega al límite de la capacidad y parte de la demanda de la zona puede ser abastecida por la zona centro hasta que se amplíe la capacidad de la zona oriente.

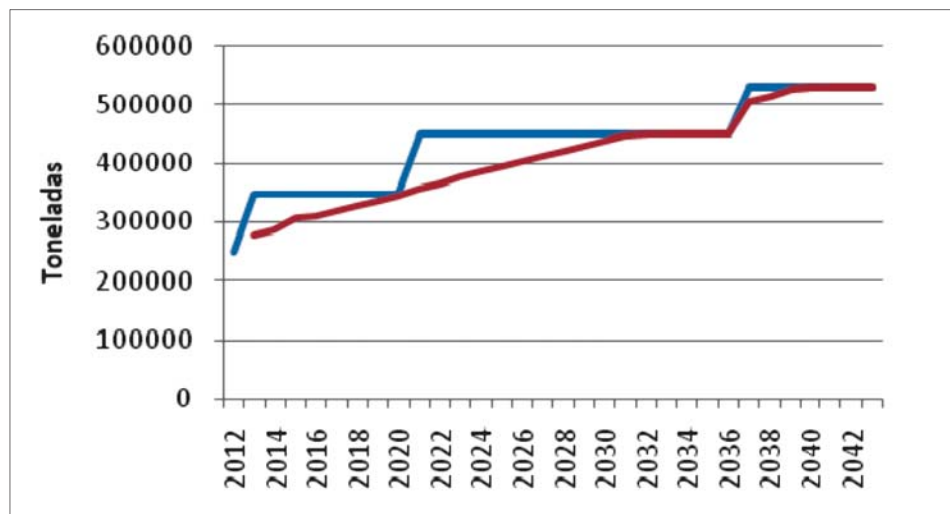


Figura 18. Capacidad disponible y producción de biodiésel en la zona oriente.
Fuente: los autores.

C. Plan de distribución

Las variables de flujo, resultantes de la aplicación del modelo, determinan que las biorrefinerías de cada zona deben abastecerse de aceite de la misma zona, y las extractoras de aceite deben abastecerse de palma también de la misma zona. El plan de distribución resultante se representa en la tabla XI. La tabla expresa con un “SÍ” cuando la mezcladora es abastecida, en la mayoría de los años, por cada zona de producción, ya sea por la zona norte, centro u oriente. Sin embargo, en algunas ocasiones, cuando la zona norte o

Tabla XI. Mezcladoras abastecidas por cada zona					
Mezcladora			Zona Producción Biodiésel		
Nº	Zona Demanda	Ubicación	Norte	Centro	Oriente
1	Norte (Costa Atlántica)	Cartagena	SÍ		
2		Galapa (Atlántico)	SÍ		
3		San Andrés	SÍ		
4		B/Quilla (Siape)	SÍ		
5		Baranoa (Atlántico)	SÍ		
6		Magangué (Bolívar)	SÍ		
7		Sitio Nuevo (Magdalena)	SÍ		
8		La Gloria (Cesar)	SÍ	Ocasional	
9	Noreste	Girón		SÍ	
10		Chimita (S/Der)		SÍ	
11		B/Bermeja		SÍ	
12	Noroeste (Antioquia)	Medellín		SÍ	
13		La Pintada		SÍ	
14		Rionegro		SÍ	
15		Sebastopol		SÍ	
16		Girardota		SÍ	
17		Turbo	SÍ		
18	Suroeste	Guadalajara De Buga			SÍ
19		Yumbo			SÍ
20		Cartago		Ocasional	SÍ
21		B/Ventura			SÍ
22	Eje Cafetero	Pereira		Ocasional	SÍ
23		Manizales		SÍ	
24	Centro-Oriente	Bogotá			SÍ
25		Facatativá			SÍ
26		San José del Guaviare			SÍ
27	Tolima Grande	Puerto Asís			SÍ
28		Neiva			SÍ
29		Gualandái – Coello			SÍ
30		Mariquita		SÍ	

Fuente: Los autores.

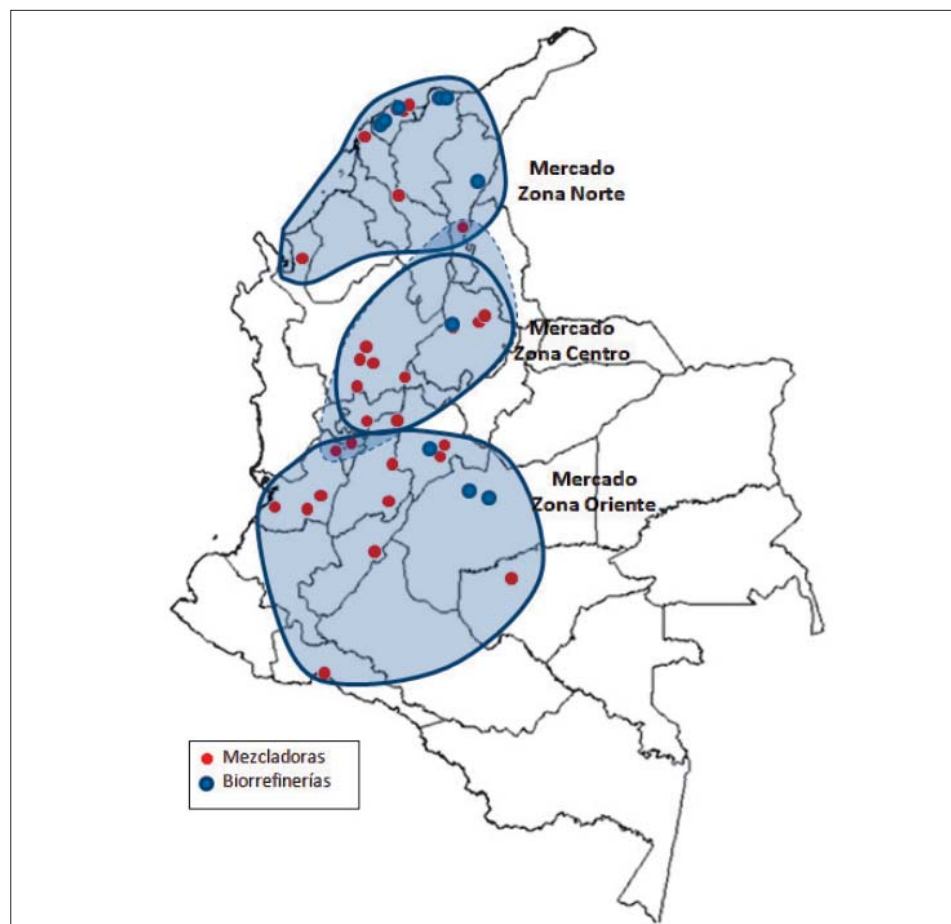


Figura 19. Mercado asignado a cada zona de producción.
Fuente: los autores.

la zona oriente no tienen capacidad suficiente para abastecer todas las zonas asignadas, la zona centro cubre total o parcialmente la demanda de algunas mezcladoras de estas zonas. En estos casos, la tabla lo expresa con la palabra “Ocasional”. Esta estrategia se presenta gráficamente en la figura 19.

En la región sombreada de la figura 19 se presentan encerradas las mezcladoras abastecidas por las plantas de cada zona de producción. La región encerrada por la línea punteada en la zona centro representa las mezcladoras abastecidas ocasionalmente. Por ejemplo, cuando la capacidad de la zona norte no es suficiente para cubrir todas las mezcladoras asignadas, la zona centro abastece una parte de la demanda de la mezcladora correspondiente a La Gloria (Cesar). Cuando la zona oriente no tiene la capacidad requerida, la zona centro se encarga temporalmente de abastecer, total o parcialmente, las demandas de las mezcladoras de Pereira y Cartago, mientras la zona oriente aumenta su capacidad.

D. Costos

El costo total obtenido es de 10.5 billones de pesos durante los 30 años evaluados, siendo el costo de instalaciones el más representativo con una contribución del 83% del costo total, seguido del costo de transporte equivalente al 17%. Los costos se presentan resumidos en la tabla XII.

Aspecto	Costo (billones de pesos)	Porcentaje
Costo de Transporte	1.77	17
Costo instalaciones	8.70	83
Costo de inventario	0	0
Total	10.5	100

Fuente: los autores.

El costo de transporte incluye el costo de movilización de palma y aceite interzonas (de una zona a otra), y el de biodiésel desde las biorrefinerías hasta los puntos de mezcla. El costo de instalaciones incluye el costo de mantenimiento de las hectáreas de cultivo por año y el costo de amortización y de capital de las biorrefinerías.

7. Conclusiones

Se obtuvo un modelo matemático que permite planificar la distribución de biodiésel y la ampliación de capacidades de las biorrefinerías en la cadena productiva en Colombia, proyectado a una demanda de treinta años. Asimismo, el modelo determina los requerimientos de hectáreas de siembra, toneladas de producción de palma, aceite y biodiésel dentro del horizonte del mismo horizonte de planeación.

De los resultados del modelo se puede deducir que la zona central y oriental requieren aumentos inmediatos en la capacidad de producción de biodiésel para poder cumplir con la demanda de los próximos años, mientras que la zona norte tiene capacidad suficiente para cubrir la demanda nacional hasta el 2042. El exceso de la capacidad actual respecto a la demanda de la zona se debe a que la localización de las biorrefinerías favorece la exportación de biodiésel, por tanto, no se dedica únicamente al mercado local.

El modelo matemático muestra que al inicio del horizonte de planeación evaluado, los incrementos de capacidad deben hacerse preferiblemente con plantas de alta capacidad (100 000 y 80 000 toneladas por año), dado que al alto crecimiento de la demanda en los próximos años hace que las nuevas plantas lleguen a su máxima capacidad en pocos años. Durante los últimos 10 años, se prefiere la ampliación de capacidad mediante plantas más pequeñas (60 000 y 40 000 toneladas por año). Sin embargo, este resultado puede deberse a su cercanía al fin del horizonte de planeación.

Por otra parte, se concluye que la producción de palma y aceite de palma para la producción de biodiésel no resulta atractiva para la zona suroccidente dada la baja demanda de la zona, por tanto, esta producción debe dirigirse a un sector diferente, como el de alimentos o cosméticos.

El modelo determina que no debe almacenarse inventario de biodiésel un año a otro para abastecer la demanda creciente. Cuando la demanda supera la capacidad de producción de una zona, debe ampliarse la capacidad de dicha zona o abastecerse temporalmente de otra zona mientras la demanda alcanza un nivel donde ya se justifique la ampliación de capacidad.

Finalmente, se resalta que el modelo presentado fue aplicado a un escenario base considerando los porcentajes de mezcla actuales en cada zona de demanda. En estudios posteriores se puede aplicar el modelo a diversos escenarios de demanda variando los porcentajes de mezcla y evaluando el impacto en los resultados.

Referencias bibliográficas

- [1] A. Dufey. *Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas. Documento de Discusión Número 2 de Mercados Sustentables*. Londres: Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo, 2006.
- [2] J. P. Arístegui, "Los biocombustibles desde la perspectiva del comercio internacional y del derecho de la Organización Mundial del Comercio," *Revista de Derecho (Austral)*, vol. XXII, no. 1, pp. 113-134, julio de 2009.
- [3] J. Orjuela, I. Huertas, J. Figueroa, D. Kalenatic y K. Cadena, "Potencial de producción de bioetanol a partir de caña panelera: dinámica entre contaminación, seguridad alimentaria y uso del suelo," *Revista de Ingeniería*, vol. 16, no. 1, pp. 6-26, 2011.
- [4] M. J. Barón, I. Huertas y J. A. Orjuela, "Gestión de la cadena productiva del biodiésel: una revisión de la literatura," *Ingeniería*, vol. 18, no. 1, pp. 84-117, 2013.
- [5] P. Benjumea, J. Agudelo y L. Ríos. *Biodiésel: producción, calidad y caracterización*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 2009.
- [6] H. An, W. E. Wilhelm and S. W. Searcy, "Biofuel and Petroleum-based Fuel Supply Chain Research: A Literature Review," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, pp. 3763-3774, 2011,
- [7] T. Krawczyk, "Biodiesel - Alternative fuel makes inroads but hurdles remain". *INFORM 7*: 800-15.
- [8] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). *Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas: II Biodiésel*. Costa Rica: IICA, 2010.
- [9] Fedebiocombustibles, "Cifras Informativas del Sector Biocombustibles". Boletín no. 84 - Marzo 13 de 2013. <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-488.htm>.
- [10] M. Barón, "Modelo de programación matemática para la cadena productiva del biocombustible biodiésel, en el departamento del Meta," tesis de maestría, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2013.
- [11] J. P. Arístegui, "Los biocombustibles desde la perspectiva del comercio internacional y del derecho de la organización mundial del comercio," *Revista de Derecho (Austral)*, vol. XXII, no. 1, pp. 113-134, julio de 2009.
- [12] Cepal, "Análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre América Latina y el resto del mundo," en *Memorias Diálogo de Políticas sobre desarrollo institucional e innovación en biocombustibles en América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile: Cepal, pp. 10-17. 2011.

- [13] Fedepalma, “Palma,” [Online]. Fedepalma. Disponible en: <http://www.fedepalma.org/palma.htm>. Consultado: enero 20 de 2013.
- [14] I. Rodríguez, Isaías y J. Orjuela, “Panorama de las políticas y leyes del gobierno colombiano frente a la producción de alimentos agropecuarios y de producción de agrocombustibles,” *Estudios en derecho y gobierno*, vol. 2, no. 2, pp.83-98, 2009.
- [15] SISPA, “Áreas en desarrollo y en producción,” [Online]. SISPA. Disponible en: <http://sis-paweb.fedepalma.org/SitePages/areas.aspx>. Consultado: octubre 1 de 2013.
- [16] Consorcio CUE. *Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia*. Medellín: Ministerio de Minas y Energía, 2012.

Johan Alexander Aranda Pinilla

Nació en Bogotá, Colombia. Es ingeniero industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá). Cursó la Maestría en Ingeniería Industrial en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Actualmente, se desempeña como profesor en las áreas de Logística e Investigación de Operaciones, en la Universidad Católica de Colombia.

Correo electrónico: johan.aranda@gmail.com

Manuel José Barón Molina

Nació en Garzón (Huila), Colombia. Es ingeniero industrial de la Universidad Autónoma de Colombia (Bogotá). Cursó la especialización en Gerencia de Negocios Internacionales, de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (Bogotá), y la Maestría en Ingeniería Industrial, de la Universidad Católica de Colombia (Bogotá). Actualmente, se desempeña como profesor en las áreas de Logística e Investigación de Operaciones, en la Universidad Católica de Colombia.

Correo electrónico: mjbaron@ucatolica.edu.co

Isaac Huertas Forero

Nació en Bogotá, Colombia. Es estadístico de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Obtuvo su título de Maestría en Investigación y Estadística en la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Actualmente, se desempeña como profesor en las áreas de Logística e Investigación de Operaciones en las Universidades Católica de Colombia y Distrital Francisco José de Caldas. Pertenece, en calidad de líder, al grupo GEGI en la Universidad Católica de Colombia (Bogotá).

Correo electrónico: ihuertas@ucatolica.edu.co

Javier Arturo Orjuela Castro

Nació en Bogotá, Colombia. Es ingeniero de alimentos, ingeniero industrial y especialista en ingeniería de producción de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá). Obtuvo su título de maestría en Investigación y Estadística en la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Es estudiante de doctorado en Ingeniería Industrial y Organizaciones en la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente, se desempeña como profesor en las áreas de Logística e Investigación de Operaciones en varias universidades a nivel de pregrado y posgrado. Es profesor de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Correo electrónico: jorjuela@udistrital.edu.co

Hacia una propuesta de mecanismos para la autenticidad de objetos de aprendizaje en plataformas Learning Content Management Systems

Mechanisms for Authenticity of Learning Objects in Learning Content Management Systems Platforms: Issues and Proposals

**Paulo Alonso
Gaona García**

Universidad Distrital F.J.C
y Universidad de Alcalá
pagaonag@udistrital.edu.co

**Carlos Enrique
Montenegro Marín**

Universidad Distrital F.J.C
cemontenegro@udistrital.edu.co

Helvert Wiesner González

Universidad Distrital F.J.C
helvertw@gmail.com



Resumen

Los actuales mecanismos de seguridad, dentro de una plataforma Learning Content Management Systems (LCMS), carecen de principios para llevar a cabo procesos de confidencialidad, integridad y privacidad de contenidos. Específicamente, la autenticidad de contenidos, es uno de los temas que dentro del área de seguridad informática requiere el establecimiento de una serie de normas y procesos para la veracidad de la información en cualquier entorno de trabajo. Por lo tanto, el presente artículo presenta una propuesta para la definición de un mecanismo de seguridad informático, que permita suplir algunas de estas necesidades dentro de una plataforma LCMS; para este caso, asociadas a la seguridad de los LCMS usando el concepto de firmas digitales bajo una Infraestructura PKI (Public Key Infrastructure).

La propuesta contempla definir aspectos para que cualquier entidad educativa pueda gestionar certificados digitales. El objetivo es ofrecer una serie de lineamientos y consideraciones para la gestión e integración de certificados digitales, con el propósito de facilitar el funcionamiento de un mecanismo de seguridad para validar la autenticidad de recursos digitales dentro de una plataforma LCMS.

Palabras clave: certificados digitales, firmas digitales, infraestructura de clave pública, LCMS, seguridad de la información

Abstract

The current security mechanisms of Learning Content Management Systems (LCMS) platforms, do not contemplate aspects related to confidentiality, integrity and privacy of contents in learning objects. In particular,

Fecha recibido: 12/12/2013
Fecha modificado: 14/06/2014
Fecha aceptado: 16/06/2014



the authenticity of content is one of the topics in the field of information security that requires principles and processes to carry out the veracity of information in any collaborative work environment. Within this context, this paper presents a proposal for the definition of a computer security mechanism to improve protection levels of LCMS platforms, through the concept of digital signatures and PKI (Public Key Infrastructure).

The approach considers the definition of aspects so that educational institutions can improve the digital certificate management or become a certification authority. The goal is to provide a set of guidelines and considerations for the management and integration of digital certificates, in order to facilitate the operation of a security mechanism to validate the authenticity of digital resources within a LCMS platform.

Key words: digital certificates, information security, learning content management system, public key infrastructure.

1. Introducción

El concepto de autenticidad de contenidos y recursos digitales presentes en internet no ha sido implementado de manera amplia sobre las diferentes plataformas, servicios o páginas disponibles en la web. Este concepto, orientado a respetar la autoría y la integridad de la información, parece no tener una mayor relevancia cuando se comparte y se gestiona por toda la web, mediante distintas entidades e infraestructuras informáticas. Por un lado, este comportamiento se presenta, en gran medida, por desconocimiento de los usuarios y, por otro, se relaciona con la falta de mecanismos informáticos que le faciliten a los usuarios tener un control de sus contenidos que circulan a través de Internet de manera insegura. A partir de estas perspectivas, diferentes iniciativas se han estado desarrollando como un intento de abordar parte de la problemática, aunque, en cierta manera, la abordan para generar soluciones parciales sobre casos particulares. Un ejemplo de ello, podemos relacionarlo con el proyecto denominado Plan Avanza [1] de la sociedad española. Proyecto que dentro de sus múltiples objetivos se encargó de implementar un sistema de autenticación denominado DNI electrónico, con el fin de crear una herramienta de identificación personal que acreditara la identificación de cada ciudadano de manera física y electrónica. Esta herramienta ha venido evolucionando en servicios de identificación y autenticación de diferentes documentos digitales utilizados por empresas en España.

Diferentes servicios y herramientas web tienen como eje principal el intercambio de contenidos a través de la red, y en este campo los LCMS se destacan como una de las herramientas de valor agregado para el apoyo académico y administrativo en la gestión de contenidos y recursos digitales, entre otras funcionalidades.

Los LCMS nacieron como evolución de los LMS (Learning Management System) para el manejo de contenidos generados alrededor de un sistema de enseñanza y aprendizaje mediante herramientas Web [2, 3]. Su popularidad se debe a que posibilitan el desa-

rollo colaborativo del aprendizaje y enriquecen este proceso mediante la administración de los usuarios alrededor de este, permitiendo así gestionar estudiantes, profesores, administradores, entre otras actividades, y enfocando todo el contenido generado en llevar a cabo un proceso de aprendizaje [4]. A pesar del uso y la expansión de los LCMS, la seguridad que se registra en algunos de ellos no es lo suficientemente robusta como para asegurar los contenidos [5-7].

Trabajos previos han definido algunos lineamientos para la definición de un *framework* que facilite la distribución de contenidos fiables dentro de plataformas virtuales a partir de estándares como SCORM [8], y estrategias mediante el concepto web de confianza [9]. Gualberto y Zorro [10] presentaron el caso de estudio para la certificación de contenidos emitidos por dos usuarios en plataformas Sakai [11] y Moodle [12] mediante Web Service; sin embargo, solo se enfocan en la autenticidad de usuarios, dejando a un lado los contenidos. Otro trabajo para resaltar es la iniciativa presentada por el proyecto PERMIS (Privilege and Role Management Infrastructure Standards Validation) [13], que integra universidades de España, Italia y Reino Unido, y cuyo propósito es el uso de certificados digitales para llevar a cabo controles de acceso de usuarios en plataformas LCMS mediante el uso de una infraestructura de clave pública. De igual forma, se han realizado estudios mediante análisis de minería de datos [14], donde se identificaron algunas de las plataformas LCMS más comunes, las cuales presentaron un mayor número de mecanismos de seguridad. Como resultado de este análisis, se identificó la herramienta Moodle como una de las plataformas LCMS con mayor número de mecanismos de seguridad implementados. Dentro de estos mecanismos se cuenta con módulos de autenticación mediante LDAP, PAM, Kerberos y correo electrónico, y se da la posibilidad de generar certificados mediante SSL y TS, al igual que el uso de protocolos HTTPS, para manejar listas de control de acceso, entre otros. Cabe señalar que la autenticidad de contenidos asociados dentro de objetos de aprendizaje es un campo que todavía no ha sido explorado en su totalidad [8].

A partir de este marco de referencia, una de las motivaciones que dio lugar a este estudio es proporcionar estrategias que logren abordar estas necesidades, mediante el planteamiento de una serie de consideraciones para la integración de una herramienta informática que le facilite a una institución académica la autenticación de contenidos dentro de una plataforma LCMS. El estudio se centrará, de manera especial, en los objetos de aprendizaje desarrollados por profesores o creadores de materiales educativos y, de manera general, abordará la validación de información presente en este tipo de herramientas.

Para llevar a cabo este estudio, el presente artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: la sección 2 presenta un panorama del tema relacionado con la autenticación de contenidos y la seguridad en la web. La sección 3 aborda el tema de autoridades certificadoras o AC encargadas de la administración de los certificados digitales y de cómo un LCMS puede convertirse en esta función. La sección 4 aborda las consideraciones para llevar a cabo una propuesta de desarrollo y su implementación sobre la



plataforma Moodle. Esta sección también define algunas de las recomendaciones más representativas para la integración de certificados digitales. Finalmente, se describen las conclusiones de la propuesta planteada, para la implementación de este tipo de mecanismos sobre una entidad académica.

2. Seguridad y autenticación de contenidos Web

El concepto de seguridad en documentos informáticos, contenidos web y en general sobre cualquier recurso digital presente en internet presenta varios enfoques. Carracedo [15] los define a partir de cuatro pilares básicos: 1) La *privacidad*, que hace referencia a proteger la información para que solo esté disponible para los usuarios a los cuales les esté permitida dicha información; 2) la *integridad*, bajo la cual se debe garantizar que la información no es alterada durante el proceso de transmisión en un sistema de comunicaciones; 3) la *autenticidad*, que tiende a garantizar la autoría del mensaje y, finalmente, 4) el *no rechazo o no repudio*, enfocado a que el autor no pueda rechazar el contenido que fue emitido por él mismo. Diferentes técnicas han ido evolucionando para intentar solventar estas necesidades, partiendo de los principios de la criptografía moderna [16] y gracias al impulso de grandes esfuerzos para el desarrollo de herramientas criptográficas conocidas e implementadas en la actualidad. Una de las técnicas más difundidas y utilizadas para asegurar la información en internet se conoce como las firmas digitales. Este concepto surge como evolución electrónica de las firmas manuscritas sobre la base de la criptografía y el área de seguridad informática.

2.1 Firmas digitales

En medio de la evolución de la seguridad informática, en los años setenta Rivest, Shamir y Adelman [17] diseñaron un sistema criptográfico conocido como RSA. El sistema funciona con la generación de dos pares de números ligados matemáticamente, conocidos en el léxico de la criptografía como clave privada y clave pública [18, 19]. Esta relación matemática entre los números garantiza que dada una clave pública, sea imposible deducir la clave privada. De la misma manera que para dos claves públicas diferentes no existe una misma clave privada. Este esquema hoy en día se conoce como criptografía de clave pública [18] y es ampliamente utilizado, ya que con el par de claves permite un proceso de encriptación de la información y de la firma digital. Para el proceso de encriptación de la información en un sistema de comunicaciones, utilizando algoritmos de clave pública, es necesario que el emisor y el receptor hayan generado su correspondiente par de claves. La clave pública de cada usuario es enviada entre todos los miembros del sistema, o debe estar disponible en el momento en que cualquier usuario la necesite. El proceso que normalmente se lleva a cabo se presenta en la figura 1, donde un usuario que emite un mensaje debe tener la clave pública del receptor, con la cual encripta el mensaje. Esto garantiza que el único que puede descryptar el mensaje es el receptor, quien tiene la correspondiente clave privada.

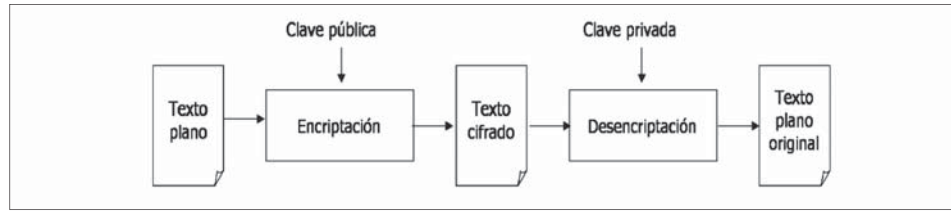


Figura 1. Proceso de encriptación con clave pública.
Fuente: [20]

Ahora bien, para generar una firma digital se usa la clave privada de quien firma el mensaje. Una vez se tiene el documento a firmar y la clave privada, por medio de funciones Hash, se genera lo que se conoce como huella digital. Tanto la huella digital como el documento son enviados al receptor, el cual, utilizando la clave pública del emisor, obtiene un Hash del documento y este se compara con un *Hash* del documento original; en consecuencia, si estos dos coinciden la firma digital es válida.

A continuación, en la figura 2, se realiza la representación gráfica de la firma digital dentro de cualquier tipo de especificación, mecanismo o algoritmo criptográfico.

La función *Hash* es parte fundamental en la estructura de los algoritmos de firma digital al utilizar funciones unidireccionales en la autenticación de los mensajes, lo que garantiza que una vez ha sido cifrado el mensaje no se puede descifrar. Esta función garantiza la “huella dactilar” del documento, por lo tanto, este tipo de funciones genera un valor agregado en el área informática y de las telecomunicaciones. A continuación, se presentan los pasos para firmar digitalmente un documento:

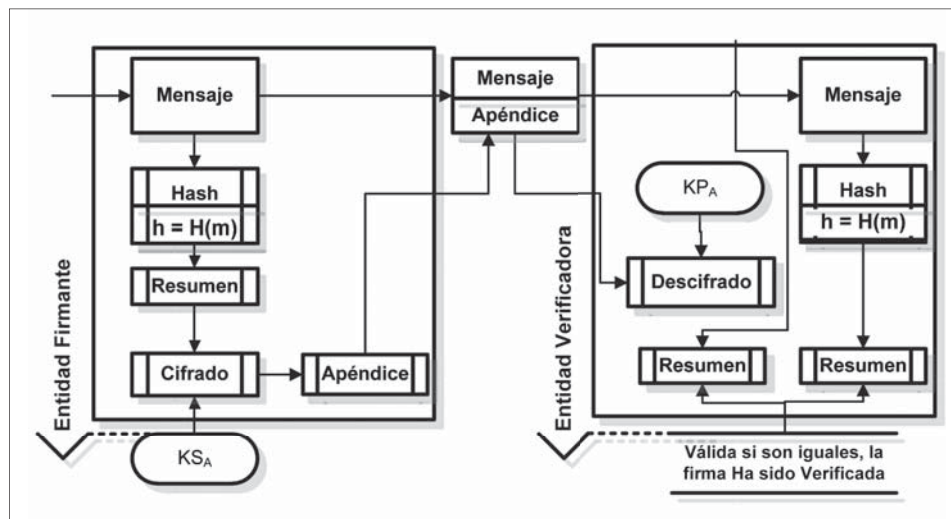


Figura 2. Adaptación de un esquema de firma digital genérico.
Fuente: el autor.



1. El valor *Hash* (H) es conocido también como resumen de (m) (longitud del mensaje original), y logra obtener la siguiente función para su cálculo de acuerdo a la ecuación 1:

Función Hash (1)

$$h = H(m)$$

Este proceso genera una firma que se trabaja mediante un resumen del mensaje.

2. El resumen sufre un proceso de cifrado junto con su clave privada KSA, la cual se envía junto con el mensaje original al receptor. Para cifrar se utiliza un algoritmo criptográfico (clave pública o privada), el cual garantiza la autenticación del mensaje mediante la generación de una firma digital.
3. El proceso de verificación de la firma se consigue descifrando el valor del apéndice enviado por el emisor, utilizando para ello la clave pública. Este proceso debe generar la firma del resumen, la cuál debe ser comparada con la firma original generada por el emisor para identificar la validez de esta.

2.2 Certificados digitales

Un certificado digital es un documento electrónico por medio del cual se puede dar fe de que una determinada clave pública pertenece a un determinado usuario. La institución que garantiza esta relación entre usuario y clave pública es denominada autoridad de confianza (CA). Para garantizar que el certificado digital no ha sido alterado, este documento va firmado con la clave privada de una CA, de manera tal que cualquier usuario del sistema puede verificar la validez del certificado con la clave pública de la CA. La misión de las CA es generar el par de claves de los usuarios y mantener un registro de claves públicas [21], para que cualquier usuario pueda verificar la firma de otro usuario con ayuda de la CA.

Existen varios tipos de certificados según su uso; los certificados personales, usados primordialmente para el cifrado personal, cifrado de email, firma de formularios, etc; los certificados de servidor, utilizados para el protocolo SSL, VPN, entre otros, y los certificados de firma de código, para garantizar la autenticidad del software. La estructura de los certificados está, en su mayoría, definida por el estándar X509. La primera versión del estándar X509 surgió en 1988 y en la actualidad está en su versión 3. Su estructura se muestra en la figura 3:

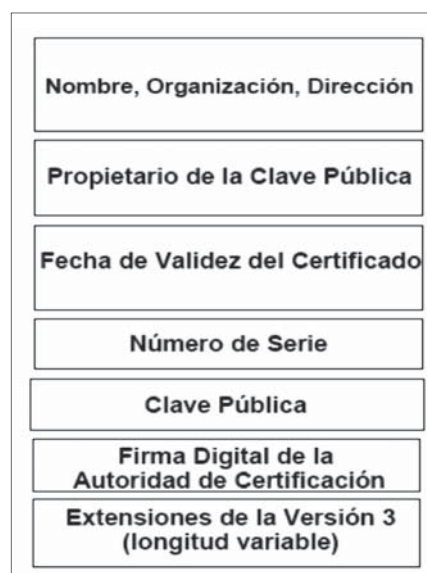


Figura 3. Estructura de un certificado X.509.
Fuente: [22].

2.3 Autoridad certificadora

También conocidas como autoridades de confianza, son las encargadas de emitir los certificados digitales de los usuarios de un sistema de seguridad que implemente infraestructura PKI. Para este proceso las AC o autoridades de certificación almacenan las claves públicas de los clientes y la correspondiente información que identifica al usuario. En el momento en que cualquier usuario necesite verificar una firma digital dentro del sistema de comunicaciones requiere la clave pública de quien emitió el mensaje. La función de la CA es garantizar la relación existente entre la clave pública y los datos de usuario inscritos dentro de un certificado digital. Este proceso es posible ya que cuando una CA emite un certificado lo firma digitalmente con su clave privada; de manera tal que si el certificado es alterado en cualquier momento este no puede ser verificado por la CA y, por tanto, el certificado es revocado.

3. Consideraciones para el modelo trabajo de certificados digitales en Moodle

Para llevar a cabo una implementación sobre plataformas digitales como Moodle, es necesario extender las funcionalidades de la plataforma para brindarle capacidades de emisión, revocación y validación de certificados digitales. Adicionalmente, es importante proveer de un mecanismo para la firma de contenidos gestionados por un LCMS, esto se realiza a través de los certificados generados. Por citar un ejemplo, la plataforma Moodle en su núcleo no provee estas características, y el uso de certificados se restringe a su característica de *Red Moodle*; aunque, esta se usa para cifrar la autenticación de usuarios entre servidores de Moodle y no para la gestión de certificados. Por tanto, es necesario contar con entornos de trabajo que faciliten una integración de este tipo de procesos. Para este caso se considera el uso de OpenSSL [23], dado que es un API que proporciona un entorno de trabajo para encriptar datos de manera eficiente.

En consecuencia, en el esquema planteado en la figura 4 se presenta el entorno de trabajo OpenSSL como una herramienta para la creación y gestión de certificados del lado del servidor, que, en conjunto con una capa de persistencia definida mediante un lenguaje tipo servidor, como es el caso de PHP, permite no solo garantizar la integridad de los contenidos subidos, sino también almacenar la información referida a la certificación de los contenidos para su posterior manejo.

El mecanismo en el lado cliente se orienta, primordialmente, para la firma de los documentos usando los certificados generados con OpenSSL para los usuarios del LCMS. Este componente de firmado de archivos y solicitud de certificados se define como un *applet* para el navegador de java y es diseñado para comunicarse con el servidor de Moodle. Esto facilita la firma de archivos en entornos multiplataforma, cuyo funcionamiento es independiente del navegador usado por el usuario (figura 5).

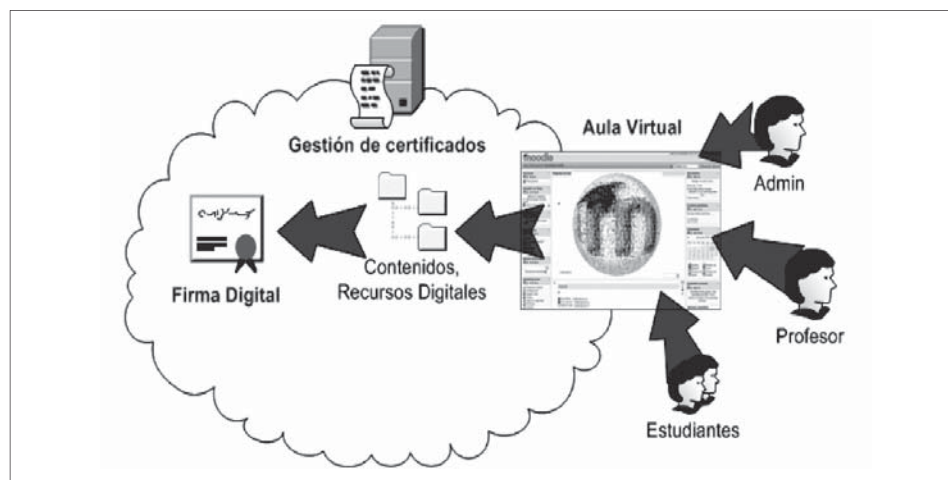


Figura 4. Modelo propuesto de trabajo.
Fuente: el autor

3.1 Modelo de capas planteado

La figura 5 presenta de forma esquemática los componentes usados para llevar a cabo el desarrollo del modelo planteado. Como base se encuentra Moodle, que provee toda la funcionalidad de LCMS y, además, alimenta al prototipo con los registros de usuarios existentes en la plataforma. En un segundo nivel se encuentra OpenSSL, que provee de toda la infraestructura para la generación de certificados digitales y su posterior administración. En el tercer nivel se ubica el plugin de gestión de certificados que modifica a Moodle, facilitando la comunicación con OpenSSL y agregando los cambios en la interfaz de Moodle para el acceso a las nuevas funciones. Finalmente, en el nivel más externo tenemos el *applet* de firmado digital, que se encarga de firmar del lado del cliente los contenidos educativos antes de subirlos a Moodle y las solicitudes de generación de certificados y validación de estos.

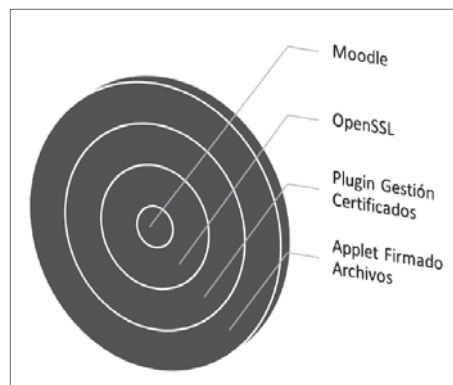


Figura 5. Diagrama del esquema propuesto de autenticación de contenidos sobre Moodle.
Fuente: el autor

3.2 Generación de certificados digitales

Para la generación de los certificados digitales se debe estructurar un esquema cliente-servidor, que permita el manejo de información y entrega de los certificados a los usuarios de manera segura. Para establecer la comunicación de modo seguro se utiliza una

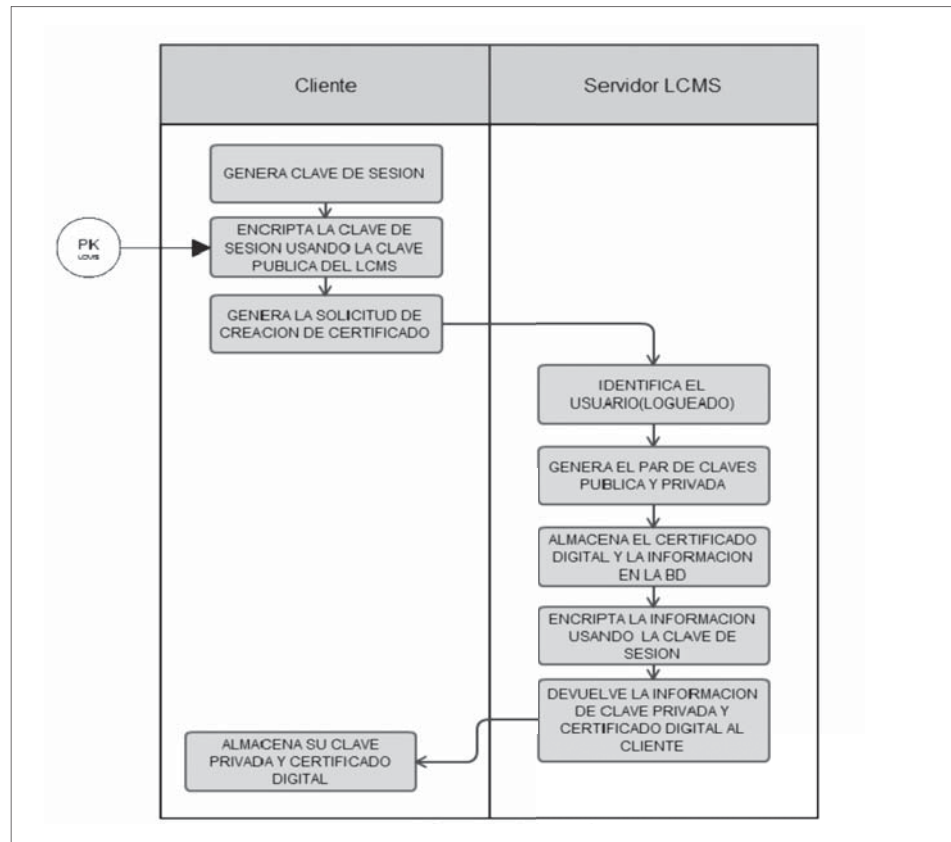


Figura 6. Proceso de firma digital planteado.

clave de sesión. La clave de sesión es una clave que el usuario genera antes de hacer la solicitud de creación del certificado y sirve para encriptar la información que el servidor devuelve al cliente como respuesta a la solicitud. El concepto de la clave de sesión se basa en la criptografía simétrica o de clave privada [24]. El proceso de generación de los certificados de esta forma se presenta en la figura 6.

A continuación, se describe cada una de las etapas definidas en la figura 6:

1. Una vez que el usuario ha realizado el proceso de autenticación en la plataforma LCMS se genera una clave de sesión aleatoria por medio del mecanismo.
2. El mecanismo del lado del cliente encripta la clave de sesión con la clave pública del LCMS, con el fin de que solamente sea conocido por el mecanismo de seguridad del LCMS.
3. El usuario hace la solicitud de generación del certificado y envía los datos encriptados al servidor por medio de una solicitud POST.



4. El mecanismo del lado del servidor valida los datos del usuario (autenticado en la plataforma) y genera la clave pública y privada del usuario.
5. El mecanismo del lado del servidor almacena el certificado público del usuario y su correspondiente par de claves en la base de datos.
6. El mecanismo del lado del servidor encripta los datos a retornar al usuario por medio de la clave de sesión y le devuelve la información al usuario.
7. El mecanismo del lado del usuario desencripta la información con la clave de sesión y guarda la clave privada y el certificado digital de manera segura.

La siguiente sección presenta algunas de las consideraciones más representativas para llevar a cabo la implementación de este tipo de soluciones.

4. Consideraciones para la integración de certificados digitales

Para llevar a cabo el diseño y desarrollo de un mecanismo, se evalúan a continuación dos escenarios para la firma de contenidos (tomando como caso de estudio la plataforma Moodle). El primero es la transmisión de los contenidos como funciona actualmente la plataforma Moodle, para su posterior firma en el servidor. Si bien esto tiene la ventaja de que se podría usar OpenSSL para el cifrado de los archivos mediante de la función *openssl_encrypt*, presenta el inconveniente de que los archivos recibidos pueden ser potencialmente diferentes de los que el usuario desea subir, por problemas de transmisión o por algún atacante en el medio del canal de comunicaciones. El segundo escenario plantea, por el contrario, la firma de los archivos en el cliente para su posterior transmisión al servidor, puesto que durante la firma se valida el certificado utilizado por el usuario, con lo cual es posible verificar en cualquier momento si el archivo recibido coincide con el firmado del lado del cliente, solucionando el problema que surge en el primer escenario.

A fin de lograr que el prototipo ofrezca seguridad desde su diseño se toma como referencia el segundo escenario. Esto plantea, por supuesto, un reto en la implementación del firmado del lado del cliente ya que actualmente no existe un estándar abierto y de facto para el firmado con certificados digitales en ambientes Web. Como propuestas existen Javascript Crypto [25] de Mozilla, CAPICOM y Certenroll [25] de Microsoft, que funcionan con ActiveX, y, finalmente, Web Cryptography API de la W3C. Esta última es una de las propuestas firmes para ser el estándar a implementar en todos los navegadores que soporten de forma completa HTML5, pero que aún no se encuentra desarrollado en su totalidad [25].

Las propuestas de Mozilla y de Microsoft se encuentran implementadas actualmente, pero solo están disponibles para los navegadores Firefox e Internet Explorer, respectivamente. La propuesta de la W3C aún se encuentra lejos de publicar su documento final y



Figura 7. Consideraciones para proceso de firmado digital.

Fuente: el autor

se requeriría un tiempo mayor para que los navegadores terminen sus implementaciones. Por lo tanto, no puede ser considerada como parte del desarrollo de nuestra propuesta. En consecuencia, el prototipo de este desarrollo se basa en Java, el cual permite que el componente de firma digital funcione en los sistemas operativos soportados por la máquina de ejecución de Java (JRE) y en diferentes navegadores a través de la implementación en forma de Applet, tal como se presenta en la figura 7.

5. Recomendaciones para LCMS como autoridades certificadoras

Basados en las consideraciones de la sección anterior y en estudios previos para la gestión de contenidos dentro de una plataforma LCMS [26], a continuación se presentan una serie de lineamientos para implementar un sistema de seguridad basado en certificados digitales.

1. *Proceso de generación de certificados digitales.* Este proceso contempla la generación de una clave pública y privada a petición del usuario. El LCMS debe gestionar el almacenamiento de los certificados digitales emitidos a los usuarios además de la información correspondiente al certificado en la base de datos del LCMS.



2. *Sistema de almacenamiento de claves privadas.* La AC debe almacenar la clave privada de cada usuario en una base de datos, no vinculada dentro del sistema de gestión de recursos digitales. Esto permitirá crear un modelo de autenticación de usuarios fiable dentro de la plataforma.
3. *Mecanismo de verificación de certificados digitales.* Luego del proceso de creación de los certificados digitales, estos son firmados por la LCMS. Esta firma permite garantizar que el certificado es válido en todo momento y que ninguna tercera parte en el sistema lo puede alterar en algún momento. De la misma manera, el LCMS debe contener un mecanismo que permita validar un certificado digital en cualquier momento por parte de otro usuario del sistema, y una vez verificado lo pueda usar en las diferentes herramientas del mecanismo.
4. *Lista de revocación de certificados o CRL.* Dentro de las herramientas con las que cuenta la LCMS para poder expedir certificados, se debe generar una lista que contenga los certificados que han sido revocados antes de su expiración y, por tanto, se invalide cualquier proceso que se haga con los mismos dentro del sistema. Cada entidad puede resolver las causales de revocación de los certificados; sin embargo, dentro de las más comunes se puede presentar que la clave privada del usuario se vea comprometida o la pérdida de estatus de un usuario dentro del sistema, por ejemplo, un estudiante que es expulsado.
5. *Validación del certificado.* Para poder validar un certificado, el usuario debe descargar la CRL que debe estar firmada con la clave privada de la AC, para garantizar su integridad. Si el identificador del certificado está contenido dentro de la lista, el certificado no es válido.

6. Conclusiones

La aplicación e integración de tecnologías estándar son de gran soporte para la seguridad en la web, pero su implementación está aún lejos de su adopción. Por lo tanto, actividades como la firma digital de archivos de lado del cliente necesitan aún del uso de tecnologías propietarias que no están diseñadas para funcionar en distintos entornos. Por este motivo, las consideraciones que se definen dentro de este artículo son un buen punto de partida para llevar a cabo el desarrollo de certificados digitales para la autenticidad de contenidos dentro de una plataforma LCMS, para este caso en particular, sobre la plataforma Moodle.

El estudio realizado evidencia la falta de mecanismos implementados dentro de las diferentes plataformas LCMS que, en principio, se encuentren orientadas a garantizar la confidencialidad de los contenidos gestionados dentro de ellas. En consecuencia, se pueden desarrollar herramientas y plantear soluciones que de manera particular ayuden a reducir el problema; sin embargo, cada LCMS tiene diferentes técnicas y estructuras de desarrollo, y cada uno define sus propias reglas para la implementación de extensiones,

por lo que aunque la solución planteada se pueda extender a cualquier LCMS, el prototipo desarrollado es una solución particular enfocada sobre la plataforma Moodle.

Por lo anterior es importante el establecimiento y divulgación de normas técnicas y legales para proteger el desarrollo de recursos digitales o la definición de pautas para la reutilización de las mismas dentro de un entorno académico. Por lo tanto, el desarrollo de este tipo de propuestas definen un nivel de confianza sobre el uso de materiales y recursos digitales dentro de un entorno académico, aunque existen otras vías legales que favorecerían el uso de materiales educativos, bajo el soporte de normas que amparan los derechos de autor.

Como trabajo futuro se prevé el desarrollo de un prototipo informático mediante la aplicación de los lineamientos definidos en el presente artículo, con el fin de llevar a cabo estudios que permitan evaluar el desempeño del mecanismo dentro de un entorno de trabajo real. Para ello, se llevarán a cabo varios casos de estudio mediante la definición de escenarios que faciliten la identificación de problemas o desafíos para la integración en plataformas LCMS.

Finalmente, es claro que los certificados digitales y firmas digitales no son una solución completamente fiable y segura dentro de un entorno abierto como lo es Internet. Por tal razón, es importante reconocer este tipo de mecanismos como alternativas de mayor aceptación dentro del área informática. Sin embargo, el tratamiento de información requerirá a futuro plantear estrategias más robustas para definir mayores niveles de confianza, donde las entidades y empresas en particular sobre cualquier área de conocimiento, necesitarán de la vinculación de información cada vez más fiable y veraz, a través de estrategias como Linked Data y Open Data.

Referencias bibliográficas

- [1] S. Muriel, "Las TIC y la identificación personal: el DNI electrónico," *Física y Sociedad*, p. 28, 2009.
- [2] L. Greenberg, "LMS and LCMS: What's the Difference," *Learning Circuits*, vol. 31, 2002.
- [3] K. Harman and A. Koohang. *Learning Objects: Standards, Metadata, Repositories, and LCMS*. Santa Rosa: Informing Science, 2007.
- [4] S. Irlbeck and J. Mowat, "Learning Content Management System (LCMS)," in *Learning Objects: Standards, Metadata, Repositories, and LCMS*. Santa Rosa: Informing Science, 2007, pp. 157-184.
- [5] D. C. Luminita, "Information Security in E-learning Platforms," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 15, pp. 2689-2693, 2011.
- [6] S. Kumar and K. Dutta, "Investigation on Security in LMS moodle," *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, vol. 4, pp. 233-238, 2011.
- [7] L. M. R. Moreno, "La seguridad informática en el trabajo con la plataforma Moodle," *Revista de Humanidades*, pp. 169-190, 2010.



- [8] P. Gaona, *et al.*, "Plataforma de seguridad basado en autenticidad de contenidos sobre conjunto de especificaciones SCORM," *Revista Ingeniería y Competitividad*, vol. 12, pp. 51-68, 2011.
- [9] P. Gaona, *et al.*, "Trust Levels Definition on Virtual Learning Platforms Through Semantic Languages," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 1, 2010.
- [10] T. M. Gualberto and S. D. Zorzo, "Incorporating Flexible, Configurable and Scalable Security to the Education Collaborative Environments," in *Frontiers in Education Conference, 2009. FIE'09. 39th IEEE*, 2009, pp. 1-6.
- [11] Sakai, "Sakaiproject.org," [Online]. sakaiproject.org. Disponible en: <http://www.sakaiproject.org>. Consultado: junio 10 de 2014.
- [12] Moodle, "Proyecto Moodle". [Online]. moodle.org. Disponible en: <http://moodle.org>. Consultado: junio 10 de 2014.
- [13] D. W. Chadwick and A. Otenko, "The PERMIS X. 509 Role Based Privilege Management Infrastructure," *Future Generation Computer Systems*, vol. 19, pp. 277-289, 2003.
- [14] D. Castañeda, *et al.*, "Análisis de reportes de seguridad sobre plataformas LCMS de tipo open source aplicando minería de datos," in *LACCEI - Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, Peru: 2010.
- [15] J. Carracedo Gallardo. *Seguridad en redes telemáticas*. España: Mc Graw Hill, 2004.
- [16] W. Mao, "Modern Cryptography," in *Selected Areas in Cryptography VIII (SAC'01)*, 2001.
- [17] A. Shamir, "On the Generation of Cryptographically Strong Pseudorandom Sequences," *ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)*, vol. 1, pp. 38-44, 1983.
- [18] S. Halevi and H. Krawczyk, "Public-key cryptography and password protocols," *ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC)*, vol. 2, pp. 230-268, 1999.
- [19] J. L. G. Pardo, "Private-Key Encryption," in *Introduction to Cryptography with Maple*, New York: Springer, 2013, pp. 131-179.
- [20] F. L. Hernández, *Seguridad, criptografía y comercio electrónico con Java*, febrero de 2007. favor aclarar qué tipo de publicación es
- [21] C. García Figuerola Paniagua, *et al.*, "Preservación digital," *Ibersid: revista de sistemas de información y documentación*, vol. 3, pp. 265-274, 2009.
- [22] A. Arsenault and S. Turner, "Internet X. 509 Public Key Infrastructure: Roadmap," *draft-ietf-pkix-roadmap-09 (work in progress)*, 2002.
- [23] J. Viega, *et al.* *Network Security with OpenSSL: Cryptography for Secure Communications*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2002.
- [24] R. Canetti and H. Krawczyk, "Universally Composable Notions of Key Exchange and Secure Channels," in *Advances in Cryptology—EUROCRYPT 2002*, 2002, pp. 337-351.
- [25] Mazumdar and Subrata, "Key Manager Tool – Extension of Mozilla Certificate Manager for Key Generation and Certificate Enrollment," *Avaya Labs Research*, 2006.
- [26] P. Lara and J. M. Duarte, "Gestión de contenidos en el e-learning: acceso y uso de objetos de información como recurso estratégico," 2005. establecer datos de en dónde se encuentra publicado el artículo

Paulo Alonso Gaona-García

Candidato a doctor en Ingeniería de la Información y del Conocimiento en la Universidad de Alcalá (España). Magíster en Ciencias de la Información y de las Comunicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor de tiempo completo adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sus áreas de interés se encuentran enfocadas en redes y comunicaciones, seguridad informática, *e-learning*, visualización de información y Web semántica.

Correo electrónico: pagaonag@udistrital.edu.co

Carlos Enrique Montenegro Marín

Doctor en Ingeniería Informática de la Universidad Oviedo (España). Magíster en Ciencias de la Información y de las Comunicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sus áreas de interés de investigación están orientadas hacia la virtualización y computación en la nube, y la ingeniería dirigida por modelos y servicios Web en ingeniería de software.

Correo electrónico: cemontenegro@udistrital.edu.co

Helvert Wiesner González

Estudiante de último semestre de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sus áreas de interés son la ingeniería de software, la telemática y la seguridad informática.

Correo electrónico: helvertw@gmail.com

Diseño de un dispositivo para la movilidad de personas con discapacidad motriz usando el método función de calidad

Design of a Mobility Device for Disabled People Using the Method of Quality Function Deployment

Leonardo Emiro Contreras Bravo
Universidad Distrital
Francisco José de Caldas
lecontrerasb@udistrital.edu.co

Wilmar Augusto Granados
Universidad Distrital
Francisco José de Caldas
wagranados@udistrital.edu.co



Resumen

Este artículo describe el diseño de un dispositivo de movilidad para personas con discapacidad motriz entre 8 y 15 años de edad, con patologías T12 y que no tengan patologías concomitantes en miembros superiores. Inicia con la obtención de los requerimientos del cliente, y la transformación de estos a partir de la herramienta llamada función de calidad (QFD - Quality Function Deployment), y el uso de diferentes métodos de evaluación del diseño obtenido.

Después de caracterizar de una manera cuantitativa lo cualitativo, se procede a desarrollar un proceso sistémico que genere elementos particulares para llegar a concretar el diseño que une los elementos técnicos y los requisitos del cliente (usuario). En la parte final se realizan varios diseños mediante el *software* Solid Edge. Se selecciona un modelo que cumple con los requisitos del cliente arrojados por la herramienta QFD y otras metodologías de diseño

Palabras clave: función de calidad, discapacidad, ingeniería, movilidad, QFD.

Abstract

This paper describes the design of a mobility device for physically disabled people between 8-15 years with T12 pathologies and no co-morbidities in the upper limbs. It begins by eliciting the customer's requirements, and conversion to designs prototypes using a tool called quality function (QFD - Quality Function Deployment). The evaluation of the different designs is also shown.

Fecha recibido: 07/09/2013
Fecha modificado: 11/06/2013
Fecha aceptado: 16/06/2014

Once the qualitative description is characterized quantitatively, the design process proceeds by systemically generating particular elements to reach the global design by joining the technical elements and requirements of the user. In the final part of the paper, several designs using Solid Edge software are presented. Lastly, the model that better meets customer requirements indicated by the QFD analysis is chosen.

Key words: disability, engineering, mobility, QFD, quality.

1. Introducción

Según [1], en Colombia conviven alrededor de 4 992 000 discapacitados que equivaldrían a 12% de la población. Por otro lado, según el Censo 2005 (dato más reciente en el país) existen alrededor de 6.3 personas por cada 100 con una discapacidad permanente, en donde parte de esa población discapacitada tiene entre 8 y 13 años. En la figura 1 se muestra que la población proyectada para el 2013, a partir del Censo 2005, para personas de sexo masculino entre 10 y 15 años es alrededor de 16 000 discapacitados, mientras que para el sexo femenino del mismo rango de edad es un tanto menor. Datos que van en aumento según la proyección.

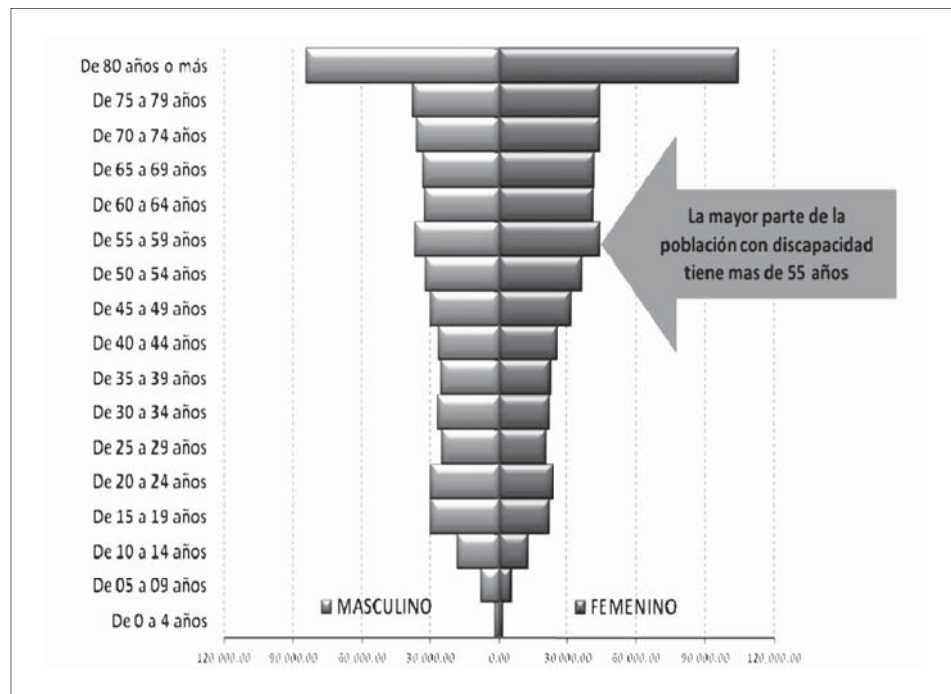


Figura 1. Porcentaje de discapacitados según edad y género proyectados a 2013, a partir del Censo DANE 2005.

Fuente: [2].



Otra información importante del Censo 2005 es que la población que tiene alguna discapacidad y se encuentra entre las edades de 5 a 9 años está alrededor del 3% y el 4%, y los que tienen entre 10 y 14 años están entre el 4% y el 5%. Por lo tanto, el segmento de población comprendido entre 8 y 15 años es complejo, dado que el desarrollo natural del individuo no permite establecer un patrón de medidas definitivo, lo que lleva a tener una escasez de diseños que permitan una flexibilidad sobre las medidas antropométricas. Por otra parte, los costos de una silla de ruedas son variables debido a factores materiales, funcionales, entre otros. Son pocas las que alcanzan niveles asequibles en precio y que permiten adecuarse fácilmente a una discapacidad en particular.

Respecto al número de limitaciones por persona [2], el 71.2% presentan una limitación, el 14.5% dos limitaciones, el 5.7% tres limitaciones y el 8.7% tres o más limitaciones permanentes. Del total de personas que reportaron alguna limitación, el 29.3% poseen limitaciones para moverse o caminar.

Otra estadística interesante fue la que arrojó la caracterización de discapacitados en la ciudad de Bogotá [3], según esta (figura 2), la pirámide poblacional de discapacidad muestra un patrón ascendente con la edad y claramente marcado hacia las mujeres. Asimismo, la mayoría de la población por ciclo vital se encuentra en la etapa de vejez con un

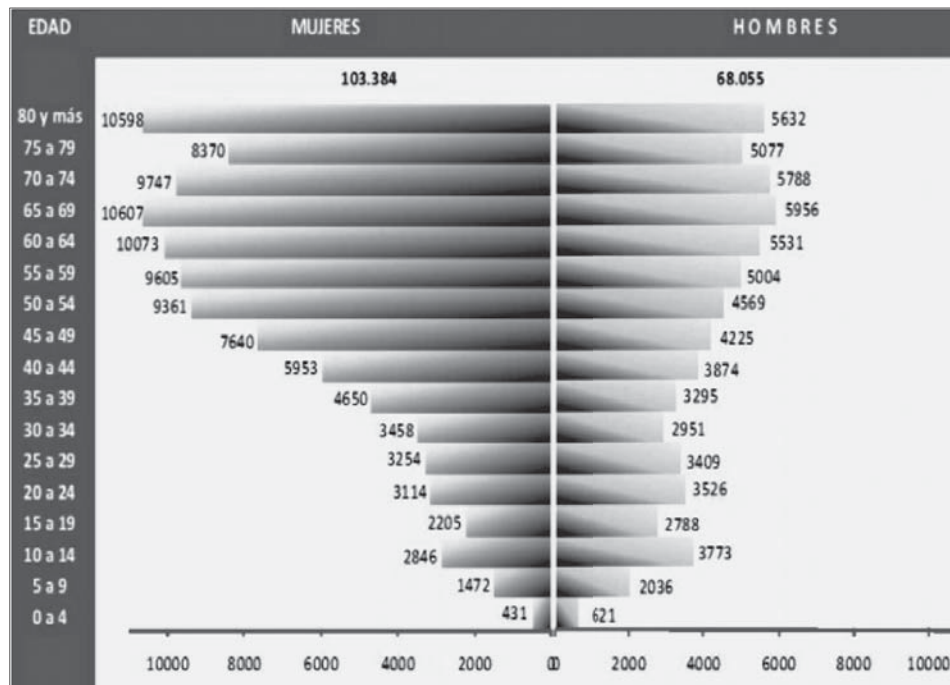


Figura 2. Caracterización de personas con discapacidad en Bogotá.
Fuente: [3].

45%, seguida por la adultez con un 40% y la adolescencia y juventud con un 12.3%. Del total de personas que reportaron alguna limitación, el 28.9% poseen limitaciones para moverse o caminar. Estas estadísticas corroboran la importancia y potencial impacto que pueden tener, en la calidad de vida de este segmento de la población, los estudios enfocados al diseño y posterior producción de dispositivos que faciliten su movilidad, y que respondan a necesidades específicas.

Existen diversos trabajos de investigación relacionados con el diseño de sillas de ruedas o dispositivos que ayuden a la movilidad de personas discapacitadas, muchos de ellos se basan en la generación de modelos matemáticos para diseñar sistemas de control automático de la misma [5], [6] y [7]. Algunos van un poco más allá, modelando sistemas que le permiten a un paciente estar en un estado erguido [8], otros plantean diseños que puedan detectar obstáculos, girar 360° o realizar funciones a partir del sensor de voz del propietario como [9], o realizar diseños que ayuden a compensar las limitaciones de personas discapacitadas [10]. En la mayoría de los casos, el diseñador parte del hecho de que los discapacitados requieren de un dispositivo “robótico-avanzado” para poder desarrollarse emocionalmente, cognitivamente y socialmente. Este tipo de suposiciones han hecho que se acoplen diversos elementos al rediseño de una silla de ruedas convencional, lo que ha generado un producto de alto costo al que pocas personas tienen acceso, especialmente en nuestro país donde prevalece una alta proporción de personas con discapacidad pertenecientes a los estratos socioeconómicos y de escolaridad baja (44.6% estrato I y 35.2% estrato II).

Otros desarrollos enfocados en la población infantil permiten identificar que la capacidad de movilidad independiente es crucial para un niño en crecimiento y su pérdida puede afectar gravemente el desarrollo cognitivo, emocional y social [11]; sin embargo, y debido a sus altos costos, lo hace inalcanzable a los segmentos sociales más vulnerables, tal como lo expresa [12].

A partir de lo anterior surge la motivación de realizar un estudio sobre una propuesta de diseño de un dispositivo que ayude a las personas con discapacidad motriz entre los 8 y 15 años, con patologías T12 y que no tengan patologías concomitantes en miembros superiores. Un dispositivo que cumpla con las condiciones particulares de los usuarios, incorporando elementos tecnológicos, ergonómicos, legales y prácticos mediante el uso de metodologías de diseño asistido por computador (CAD, Computer Aided Design) y modelamiento por elementos finitos (MEF), entre otras.

Existen diferentes metodologías de diseño (diseño axiomático, método funcional, diseño descriptivo, métodos creativos, método TRIZ, etc.). En este proyecto piloto se ha seleccionado el Método de Función de Calidad (QFD, por sus siglas en inglés) por la gran efectividad que este provee debido a la reducción de fallas que se dan después de la elección final. Lo anterior, con relación a los costos es realmente significativo, pues permite planificar todo proceso tomando como referencia las necesidades de los usuarios o “voz del cliente”, esperando satisfacer sus requerimientos en totalidad, y, a su vez, brindando



resultados de calidad [4]. El QFD es una metodología que ayuda al desarrollo de los procesos de innovación y al desarrollo en las organizaciones, también permite articular la transición que existe entre la generación de una idea y cómo llevarla a cabo. Dicha metodología facilita la determinación de los elementos que la organización necesita para la elaboración de un producto, lo que permite, posteriormente, establecer los métodos de producción para la optimización de los recursos y maximización de los beneficios.

2. Generalidades del Quality Function Deployment

El QFD se desarrolló al final de la década de los años sesenta, paralelo a la introducción de productos japoneses originales. Desde sus inicios, fue considerado parte del conjunto de la gestión total de la calidad, conocido en aquel país como Total Quality Control (TQC), y fue diseñado, específicamente, para la creación de nuevas aplicaciones y productos.

2.1 Estructura del Quality Function Deployment

La analogía más usada para explicar cómo está estructurado el QFD es una casa de calidad (*house of quality*) [13]. La figura 3 muestra cómo se estructura este tipo de matriz QFD básica. El costado izquierdo, componente 1, es la entrada del cliente; esta es la etapa del proceso en la que se determinan los requerimientos del usuario en relación con el producto (qués). Para satisfacer estas necesidades, se evalúan ciertas especificaciones de desempeño, conformando así el techo interior de la casa o componente 2 (cómos). Posteriormente, se analiza la relación existente entre estos aspectos técnicos, conformándose el techo de la casa (matriz de correlaciones) o componente 3. Asimismo, se debe establecer la relación entre cada una de las necesidades referidas por el usuario con las características técnicas determinadas; esto presentado como componente 4 (matriz de relaciones entre cómos y qués) y para el cual se concede un valor numérico que represente dicha relación.

El fondo o base de la casa, componente 5 (objetivos de los cómos), es donde se jerarquizan los requisitos técnicos del proceso que son críticos. El componente 6 (cómo nos ven), a la derecha, pondera la satisfacción de las necesidades de los usuarios a partir de las propuestas presentadas por la competencia. El componente 7 hace referencia a la relación entre las propuestas disponibles (tanto las de la competencia como la propia) y los componentes técnicos. Finalmente, el componente 8 (evaluación consecución de los objetivos cómos) arroja la propuesta más cercana a satisfacer los requerimientos técnicos.

2.2 El proceso del Quality Function Deployment

Un ciclo completo del proceso del QFD lo constituyen seis matrices ilustradas en la figura 3. La matriz 1 se usa para comparar los requerimientos del cliente con las características técnicas del producto. Todas las otras matrices se originan de esta primera

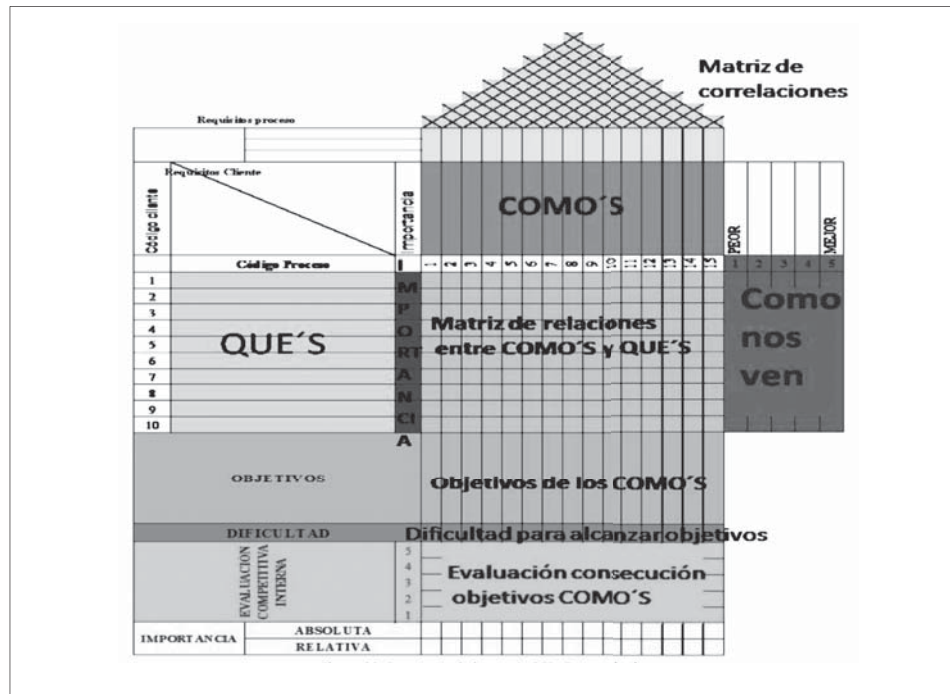


Figura 3. Estructura de la matriz QFD.
Fuente: [14].

matriz. La matriz 2 se usa para comparar las características técnicas en la matriz 1 con sus tecnologías aplicadas asociadas. Sirven para contestar preguntas como: ¿qué quiere el cliente? o ¿cuáles son los requisitos técnicos relacionados con las características que quiere el cliente? La matriz 3 se usa para comparar las tecnologías aplicadas de la matriz 2 con sus procesos de manufactura asociados. La matriz 4 se usa para comparar los procesos de manufactura de la matriz 3 con sus procesos de control de calidad asociados. La matriz 5 se usa para comparar los procesos de control de calidad con sus procesos de control estadístico del proceso. La matriz 6 se usa para comparar los parámetros del control estadístico del proceso con las especificaciones que se han desarrollado para el producto terminado.

3. Metodología

3.1 Captación de las demandas del cliente (voz del cliente)

Con el fin de captar los requerimientos del cliente (RC), se realizaron encuestas, dado que es un método muy fácil de trabajar y cuyas fuentes primarias son la comunicación con las personas directamente afectadas (patologías de lesión medular de T12 hacia abajo y que no tengan patologías concomitantes en miembros superiores) [15], los centros de aten-



ción para discapacitados, las familias de los discapacitados, los centros de investigación y el conocimiento propio. Para desarrollar la primera matriz, fue necesario contar con información de cuatro factores:

- Las necesidades reales de los usuarios.
- Cómo valoran los usuarios cada una de las demandas.
- Cuáles son las principales quejas que plantean los usuarios acerca del producto.
- Qué opinión tienen los usuarios de nuestro producto y de los competidores líderes, tomando como referencia cada una de las necesidades detectadas.

A partir de las fuentes mencionadas, se obtuvieron 120 RC. Para poder manejar las necesidades del cliente, estas deben estar estructuradas en jerarquías. Las necesidades primarias son en general las primeras 5 a 10 necesidades que fijan el rumbo estratégico del producto. Por ejemplo, “que sea cómoda” es una necesidad primaria para el dispositivo de transporte. Las necesidades secundarias se elaboran a partir de las necesidades primarias, cada necesidad primaria genera, aproximadamente, entre 3 y 10 necesidades secundarias [16]. La tabla I muestra algunas de ellas, a manera de ilustración.

Tabla I. Estructuración de las demandas del cliente		
Demanda primaria	Demanda secundaria	Demanda terciaria
1. Movilidad	1.1. Manejo	1.1.1. Autónomo
		1.1.4. Suave
		1.1.5. Acceso a unidades sanitarias
	1.3. Fuentes de potencia	1.2.1. Humana
		1.2.2. Eléctrica
	4. Antropometría	4.1. Dimensiones
4.4. Accesorios		4.2.1. Apoyos corporales
		4.2.2. Asiento cómodo
		5.1.1. Vivos
5. Estética	5.1. Colores	5.1.2. Conservadores
		5.2.3. Innovadora
		7.1.1. Diversos materiales
6. Diseño	7.1. Calidad	7.1.2. Fácil de ensamblar
		7.2.4. Simple
		7.2.6. Facilidad en el giro
		7.3.1. Comodidad
	7.3. Medidas	7.3.1. Comodidad
	7.6. Clima	7.6.1. Protección contra la lluvia, sol, viento, granizo
	7.7. Seguridad	7.7.1. Arnéses

Fuente: los autores.

3.2 Priorización de los requisitos del cliente

No todos los requerimientos del cliente (RC) son igualmente importantes a los ojos de los usuarios; se utilizó el método de análisis jerárquico también conocido como AHP (Analytic Hierarchy Process) que se basa en comparación por pares, para determinar correctamente la importancia de cada demanda. En este caso, los técnicos y usuarios utilizan una valoración del 1 al 5, donde 5 indica la mayor prioridad y 1 la menor.

La prioridad es uno de los factores que contribuyen al cálculo de la ponderación total de cada característica técnica (CT); el otro factor es la intensidad de la relación RC y CT. Cada pregunta evaluada se realizó teniendo en cuenta la valoración que se muestra en la figura 4.

3.3 Evaluación del cliente

La población objetivo evalúa los criterios obtenidos con el fin de definir su grado de satisfacción y determinar su prioridad; estos criterios se comunican a través de preguntas consignadas en una encuesta (figura 4).

Según [17], entrevistar unos 20 o 30 usuarios sería suficiente para identificar el 90% o más de las necesidades en un segmento relativamente homogéneo. Por lo

ENCUESTA		Nº <u> </u>
Nombre: _____ Edad: _____ Género: _____ Tiempo que lleva con la limitación: _____ Tipo de lesión: _____ Forma actual de movilización: _____ La siguiente encuesta busca obtener las características que son consideradas muy importantes al momento de generar el desarrollo de un dispositivo de movilidad para personas discapacitadas. Para el desarrollo de la encuesta debe tener en cuenta: 1) leer atentamente la pregunta. 2) al momento de realizar la valoración su significado es el siguiente ⑤ Necesario, ④ Muy importante, ③ Importante, ② Poco importante, ① No es necesario.		
1. ¿Considera importante la autonomía en la movilidad?		Valoración: ⑤④③②①
2. ¿Qué tan importante es la colaboración de una persona al momento de movilizarse?		Valoración: ⑤④③②①
3. ¿Qué tan relevante es la posible ayuda de otra persona al momento de movilizarse?		Valoración: ⑤④③②①
4. ¿Considera que el movimiento del dispositivo debe ser suave?		Valoración: ⑤④③②①
5. ¿Desea que pueda tener acceso a las unidades sanitarias estándar?		Valoración: ⑤④③②①
6. ¿Cuál es su criterio frente al dispositivo se mueva por su propia cuenta?		Valoración: ⑤④③②①
7. ¿Si el dispositivo tuviera controles para conducirlo que tan importante es que serán pequeños?		Valoración: ⑤④③②①

Figura 4. Encuesta elaborada en el estudio.
Fuente: los autores.



tanto, posterior a la aplicación de la encuesta, se realiza la tabulación de los datos por medio de un análisis matricial realizado con la ayuda del software de Excel 2007® de Microsoft. El análisis arrojó que existían 41 necesidades primarias: autonomía, colaboración para movilizarse, movimiento suave, acceso a unidades sanitarias, energía humana, liviano, ruedas medianas para la dirección, frenos mecánicos, posición sentada, entre otras.

3.4 Elaboración de la lista de parámetros técnicos o características técnicas

Las CT también pueden organizarse en un árbol jerárquico. Por medio del método tormenta de ideas se obtienen los elementos que se enuncian a continuación: peso completo, peso del chasis, altura, ancho, longitud, diámetro de ruedas delanteras, altura al asiento, alto del espaldar, entre otros.

3.5 Ponderación, evaluación y correlación

3.5.1 Relaciones entre requerimientos del cliente y características técnicas

En el cuadro central de la matriz se asignó un valor que informará el nivel de importancia que tiene la relación entre las filas de los RC y las columnas de las CT. Esta correlación expresa cuánto afecta a cada RC una CT particular.

- Primer criterio: débil, afirma que la relación encontrada entre las características técnicas y requisitos del cliente resta de tener gran importancia. Se le asigna valor de 1.
- Segundo criterio: moderada, se asigna este criterio cuando existe una relación entre las variables. Se le asigna valor de 3.
- Tercer criterio: fuerte, que quiere representar la existencia de una alta dependencia o relación entre los criterios que se desean analizar. Se le asigna valor de 9.

3.5.2 Relación entre características técnicas

La relación entre características técnicas se describe brevemente a continuación:

- Primer criterio: es muy fuerte, y lo relaciona con el símbolo “++”, que significa que la relación de las características técnicas tiene un nivel de dependencia muy alto.
- Segundo criterio: es fuerte, y lo relaciona con el símbolo “+”, esta relación es de dependencia, pero no muy fuerte.
- Tercer criterio: es nada, no se ha determinado el grado de relación.

- Cuarto criterio: es débil, y se simboliza “-”, que quiere decir que el criterio relacionado tiene un nivel de independencia bajo.
- Quinto criterio: es muy débil, y se le asigna el símbolo de “- -”, que quiere representar un alto nivel de independencia.

3.6 Nivel de dificultad

Existen 5 niveles que determinarán cuál es el nivel de dificultad que existe para los usuarios. Inicia con el criterio de “muy fácil” con un valor asignado de 1 hasta una ponderación de “muy complicado” con un valor de 5.

3.7 Puntuación absoluta

Es el valor que se genera al momento de evaluar las características técnicas en relación con los requerimientos del cliente es llamada la puntuación absoluta esta puntuación se relaciona con el nivel de dificultad asignado a cada una de las características técnicas. La fórmula para calcularla es la siguiente:

$$Puntuación\ absoluta = \sum_0^j \text{relaciones entre RT y CT} \times \sum_0^i \text{Calificación de la importancia del RT} \quad (1)$$

x Nivel de dificultad de cada una de las CT_j

Donde *i* es la cantidad de requisitos del cliente y *j* es la cantidad de características técnicas.

3.8 Puntuación relativa

Se refiere al modo con el cual se calcula el posicionamiento de la puntuación absoluta de una característica técnica con la puntuación absoluta de la cantidad de características técnicas analizadas. La fórmula para calcularla es la siguiente:

$$Puntuación\ relativa = \frac{Puntuación\ absoluta\ j}{cantidad\ total\ de\ CT \times total\ RC} \quad (2)$$

4. Resultados y discusión de los resultados

4.1 Primera casa de la calidad

El primer resultado obtenido es la primera casa de la calidad, la cual se muestra en la figura 5. En ella se describen las CT que más influyen o pueden solucionar los RC. Esta primera matriz arrojó como resultado 36 CT.

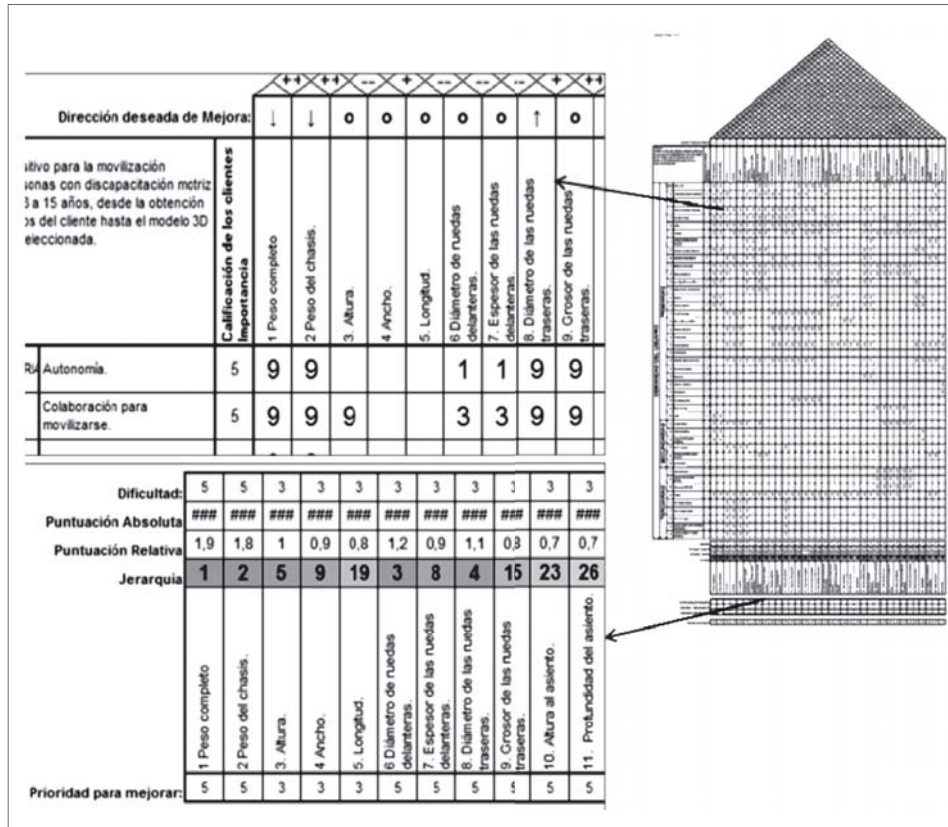


Figura 5. Matriz 1 QFD.
Fuente: los autores.

4.2 Análisis Morfológico

El Análisis Morfológico es un método analítico-combinatorio cuyo objetivo es resolver problemas mediante el análisis de las partes que lo componen. Se basa en la concepción de que cualquier objeto de nuestro pensamiento está compuesto o integrado por un cierto número de elementos, los cuales tienen identidad propia y pueden ser aislados.

Para este fin se siguieron las recomendaciones dadas en [18] para determinar con éxito las características que hacen parte del análisis morfológico, a saber:

- Generalidad e independencia entre características o funciones. Aquí se evaluó la dependencia, independencia o no validez de la característica para tenerlas en cuenta, agruparlas y realizar los diseños. En la tabla II se ilustran algunas.
- Características o funciones factibles.
- Una lista razonable y manejable debe tener de 4 a 8 características o funciones.

Tabla II. Relacionamiento de las características					
CT	Nivel de dificultad	Puntaje absoluto	Jerarquía	Relacionamiento	Explicación
01. Peso completo	5	3050	1	Dependiente	Se unificará en un criterio llamado AUTONOMÍA, su relación con el peso está dada en que a mayor peso menor es la posibilidad de tener autonomía.
06. Diámetro de ruedas delanteras	3	1901	3	Independiente	Se analizará en la segunda casa de la calidad.
33. Engranaje	5	1350	16	No válido	La característica no se tendrá en cuenta al estar en contra de la autonomía y de la generación de peso al diseño.
34. Grados inclinación espaldar	3	758	31	Válido	La silla debe poseer una manera que facilite la inclinación de la silla.
35. Radio de giro	2	747	32	Independiente	Es una característica obligatoria, el dispositivo debe girar 360°.
36. Pintura	1	230	35	Independiente	Es una característica que en el diseño no genera un factor de preponderancia.

Fuente: los autores.

La tabla III ilustra un resumen de las características necesarias para realizar las propuestas de diseño. Se agruparon de la siguiente manera: autonomía, energía de propulsión, ruedas, inclinación de las ruedas, amortiguación, cambios climáticos y comodidad.

Tabla III. Características morfológicas	
Característica Morfológica	Explicación
Autonomía	La autonomía es un criterio morfológico que se desprende a partir de las entrevistas realizadas a los usuarios, en donde ellos describen que lo más importante es que ellos sean capaces de realizar los movimientos del dispositivo por sí mismos, dada esta razón resulta ser una de las más críticas en la realización del diseño.
Energía de propulsión	Existen diferentes opciones de propulsión (mecánica, eléctrica, neumática, humana) que posibilitan la movilidad de este dispositivo. Se le da mayor importancia a la energía humana ya que, según las encuestas, las personas discapacitadas se sienten rechazadas por la sociedad por su condición y al hacer un dispositivo que no intervengan sus brazos como mecanismo de propulsión se sentirían aún peor anímicamente. Otra razón es que es el único medio por el cual ellos realizan una actividad física, y además no genera mayor peso como otros dispositivos.







Ruedas	Existe una diversidad en la cantidad de ruedas que se pueden definir en el dispositivo, en este caso según los requisitos obtenidos por parte del cliente está dada por 3, 4 y 5 ruedas; 3 ruedas por ser un sistema más moderno, 4 ruedas por ser un sistema tradicional y 5 ruedas para mayor estabilidad.
Inclinación de las ruedas	La inclinación de las ruedas responde a que si tienen una inclinación de 5 grados hacia adentro le permitirá realizar desplazamientos más estables, pero aumenta el ancho del dispositivo. Tener las ruedas en un estado vertical permitirá tener desplazamientos menos estables pero el ancho del dispositivo es menor.
Amortiguación	Se establecen dos tipos de amortiguación, a partir de un pistón neumático y otro hidráulico, como opciones que favorecen un desplazamiento estable y suave.
Cambios climáticos	Dentro las decisiones consideradas, se destaca la de tener la posibilidad de que el dispositivo tenga protección climática.
Comodidad	La comodidad es un elemento de suma importancia, al momento de realizar las encuestas, se encontró que es relevante dado que sin esta cualidad puede ocasionar efectos adversos en la salud de las personas, como la generación de llagas, o malformaciones de las extremidades.

Fuente: los autores.



4.2.1 Bocetos de dispositivos móviles

Estos bocetos fueron realizados por medio del *software* Solid Edge, tomando como partida las características técnicas obtenidas de la primera casa de calidad y que, posteriormente, fueron reducidas por medio del método de análisis morfológico. Las diferentes características de análisis morfológico y algunas opciones de diseño se muestran en la tabla IV.

Tabla IV. Opciones para cumplir con el análisis morfológico.				
Características VS opciones	1	2	3	4
Autonomía	Totalmente solo	Totalmente solo y posible ayuda	Apoyo mecánico	Apoyo eléctrico
Tipos de energía	Humana	Mecánica	Eléctrica	Humano-mecánica
Ruedas	3 ruedas	4 ruedas	5 ruedas	Sin ruedas
Inclinación de las ruedas	Hacia adentro	Hacia afuera	Sin inclinación	Modificar la inclinación
Cambios climáticos	Protección móvil	Protección fija	Sin protección	
Comodidad	Boceto asiento 1 	Boceto asiento 2 	Boceto asiento 3 	Boceto asiento 4 

Fuente: los autores.

Tabla V. Elección de la propuesta usando objetivos ponderados – parte del análisis

Objetivo	Clasificación de importancia de los usuarios	Boceto 1		Boceto 2		Boceto 3	
							
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
Autonomía	5	5	25	5	25	5	25
Colaboración para movilizarse	5	5	25	5	25	5	25
Acceso a unidades sanitarias	5	5	25	5	25	5	25
Energía humana	5	5	25	5	25	5	25
Liviano	5		0		0		0
Inclinación hacia adentro	5	5	25	5	25	5	25

Fuente: los autores.

Para la elección de la mejor propuesta se realiza un análisis de objetivos ponderados [19]. Para ello, se construye la matriz de criterios y valoración (parcialmente ilustrada en la tabla V). En esta matriz el diseñador es quien asigna la calificación, de tal manera que será de 1 cuando su cumplimiento del objetivo sea bajo, 3 cuando lo cumple en manera parcial y 5 cuando los cumple totalmente. Se observa como resultado de este análisis que la propuesta 1 es la que tiene mayor cumplimiento de los requisitos del cliente. Seguidamente, para obtener el valor del objetivo, el diseñador deberá multiplicar su calificación con la calificación de la importancia para los usuarios, que es obtenida a partir de la primera matriz de la casa de la calidad.

Algunas razones por las cuales fueron o no seleccionadas son: la opción 2 no es seleccionada por cuanto la forma del asiento dificulta convertirla en un sistema plegable o ajustable. La opción 3 es un asiento que se parece a una silla hospitalaria; para los encuestados no es agradable la forma de la silla puesto que a algunos les trae malos recuerdos de su discapacidad. La opción 4 no es seleccionada ya que posee un tipo de asiento y espaldar no adaptable a los usuarios en periodo de crecimiento (entre 8 y 15 años de edad). Así entonces, la propuesta 1 es la que tiene mayor cumplimiento de los RC.

4.3 Propuesta seleccionada

A continuación, se muestran brevemente aspectos relevantes de la propuesta seleccionada (boceto 1). Para la selección de los materiales adecuados (tabla VI), se tuvo en cuenta la segunda casa de calidad QFD (no mostrada en este artículo).



Tabla VI. Materiales producto de segunda casa de calidad QFD			
Número de elemento	Título	Material	Cantidad
1*	Base principal	Polipropileno, alto impacto	1
2*	Soporte estructural	Aluminio 1060, plancha estriada	1
3*	Pivote	Acero	2
4	Rueda de empuje	Aluminio, 1060	2
5	Rueda dirección	PVC	1
6	Base amortiguador	Acero	1
7*	Alma del amortiguador	Acero	1
8*	Cabecera	Polipropileno, alto impacto	1
9*	Apoya pies	Polipropileno, alto impacto	1
10*	Freno	Titanio, sin aleación	2
11	Protector	Polipropileno, propósito general	1

Fuente: los autores.

Algunos elementos adicionales en la silla son el apoya brazos, esencial para el diseño como parte de los elementos de comodidad que necesitan en el dispositivo, el sistema de amortiguación, los frenos de disco, el apoyo en todo el cuerpo de la persona, el apoya pies y apoya cabeza con la opción de extenderlos ya que, como se mencionó, las personas están en periodo de crecimiento (figura 6).

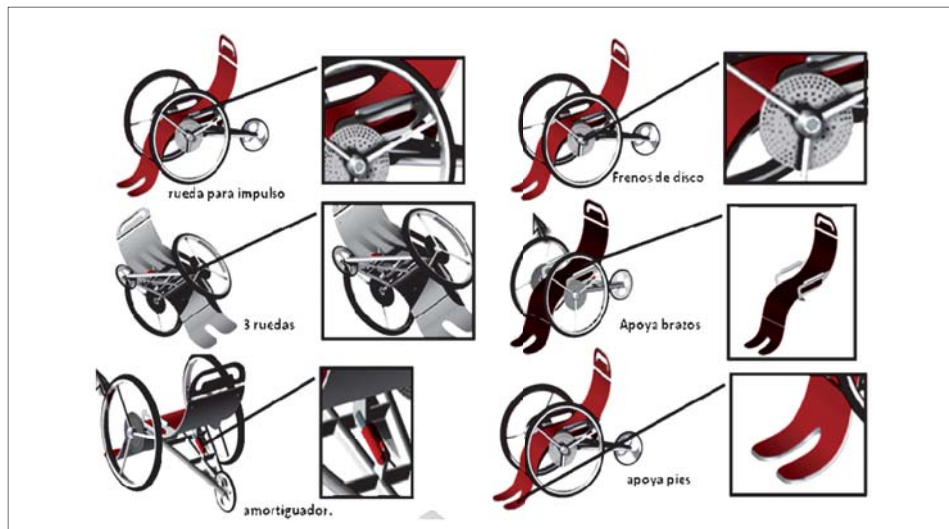


Figura 6. Detalles del diseño seleccionado

Fuente: los autores.

5. Conclusiones

Una de las ventajas que se observó durante la aplicación de la metodología de diseño para el producto de movilidad, es que permite la eliminación de la subjetividad a lo largo de su proceso. Lo anterior, se logra gracias a técnicas como el análisis morfológico para la toma de decisión del boceto elegido y el análisis de objetivos ponderados para determinar el nivel de relación que existe entre las características que se evalúan en las matrices de la casa de la calidad.

Por otra parte, durante el proceso de levantamiento de RC, se encontraron varios de carácter muy críticos que solamente los usuarios o población objetivo (las personas con discapacidad) podían conocer, por ejemplo, que el dispositivo sea liviano debido a que las extremidades inferiores son las diseñadas para resistir el peso de las personas, los brazos no están diseñados para dicha labor. Por lo tanto, si se exigen mucho los músculos de los brazos estos pueden desarrollar lesiones.

Igualmente, el estudio identificó que los usuarios de sillas de ruedas encuestados no se encuentran totalmente satisfechos con ellas. Al respecto, la encuesta que fue procesada durante el proceso QFD ayudó a captar con mayor facilidad los requisitos que verdaderamente son importantes para crear un boceto de diseño que puede mejorar las condiciones de comodidad de los usuarios y, en general, las condiciones de vida de niños y adolescentes que se encuentran en periodo de crecimiento.

La propuesta descrita en este artículo está basada explícitamente en las necesidades de las personas discapacitadas. En efecto, tras el desarrollo de la casa de la calidad se generaron prototipos que no se alejan de la forma básica con que se cuenta actualmente, teniendo en cuenta los requerimientos antropométricos, los aspectos ergonómicos, entre otros. En etapas posteriores asociadas a este proyecto se realizará el análisis estático y dinámico de la estructura del dispositivo, así como el análisis de todas sus partes constitutivas y optimización de dimensiones y material mediante software de elementos finitos. Después de ello se identificarán los procesos de fabricación de una silla piloto. De esta manera, se espera en el futuro lograr construir un dispositivo que cumpla con los requisitos de cliente y criterios técnicos arrojados por el QFD, pero con materiales económicos y procesos de fabricación que conlleven a una silla de un bajo costo.

Referencias bibliográficas

- [1] Organización Mundial de la Salud y Banco Mundial, “Resumen informe mundial sobre la discapacidad,” [Online]. Disponible en: http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/summary_es.pdf. Consultado: septiembre 15 de 2012.
- [2] Ministerio de Salud y Protección Social (MinSalud), “Sistema Nacional de Discapacidad (SND),” [Online]. Disponible en: <http://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/Paginas/Dis-CAPACIDAD.aspx>. Consultado: junio 16 de 2014.



- [3] A. González. *Actualización de la caracterización sociodemográfica de la población con discapacidad en bogotá; 2005-2010*. Bogotá: Secretaria Distrital de Salud, 2011.
- [4] J. Acuña. *Mejoramiento de la calidad, un enfoque a los servicios*. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2005.
- [5] S. Ahmad, N. Siddique and M. Tokhi, "Modelling and Simulation of Double-Link Scenario in a Two-Wheeled Wheelchair," *Integrated Computer-Aided Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 119-132, 2014.
- [6] C. B. Brutti, A. J. Sattler, D. Albacetti, A. R. Canavelli and C. B. Donisi, "Motorización de sillas de ruedas convencionales: unidad totalmente desarmable y con exclusivo sistema de desacople de motores para tracción manual," *Actas de Ingeniería Clínica y Tecnología Médica*, vol. 1, no. 15, pp.110-125, 2010.
- [7] Crea & Ajuda S.L. and M. A. Torra-Sorribes, "Wheelchair that can be raised and converted into a stretcher," [Online], Patente No. WO 2009010602 A1, 2013. Disponible en: <https://www.google.com/patents/WO2009010602A1?cl=en>. Consultado: junio 20 de 2012.
- [8] L. Salcedo, C. Torres, G. Urriolagoitia y B. Romero, "Rediseño para la optimización de una silla de ruedas eléctrica de dos posiciones," en *10º Congreso Nacional de Mecatrónica*, Puerto Vallarta (Jalisco), noviembre 3 y 4 de 2011.
- [9] A. Navarro, B. Elizalde, D. Camacho y N. Hernandez, "Silla de ruedas súper inteligente," [Online]. Disponible en: http://www.tlalpan.uvmnet.edu/oiid/download/Silla%20de%20ruedas%20inteligentes_04_ING_ISC_PIT_E.pdf. Consultado: julio 10 de 2012.
- [10] J. S. Aguasvivas y L. González, "Diseño de refrigerador para personas en silla de ruedas," en *The Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology - LACCEI 2009*, San Cristobal (Venezuela), junio 2 de 2009.
- [11] L. Lugo y V. Seijas, "La discapacidad en Colombia: una mirada global," *Revista Colombiana Medicina Física y Rehabilitación*, vol. 22, no. 2, pp. 64-122, 2013.
- [12] H. Soh and Y. Demiris, "Involving young children in the design of a safe, smart paediatric wheelchair". Submitted to the ACM/IEEE HRI-2011 Pioneers Workshop, Lausanne, 2011.
- [13] J. C. De la Iglesia, F. Martín y E. Yacuzzi, "El método de Kano en el diseño de productos y servicios," [Online]. Disponible en: <http://www.ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/224.pdf>. Consultado: julio 10 de 2012.
- [14] D. L. Goetsch, "Introduction to Total Quality," in *Quality Function Deployment*. New Jersey: Merrill, 1997, pp. 245-279.
- [15] B. Guillon, "Sillas de ruedas," [Online]. Encyclopédie Médico-Chirurgicale. E – 26-170-B-10. Disponible en: <http://www.slideshare.net/normaobaid/sillas-de-ruedas-28671370>. Consultado: julio 10 de 2012.
- [16] J. Hauser and A. Griffin, "Voice of the customer," *Marketing Science*, vol. 12, no. 1, pp. 1-27, 1993.
- [17] J. Alcaide. *Diseño de producto, métodos y técnicas*. Valencia: Editorial de la UPV, 2001.
- [18] F. Martín y E. Yacuzzi, "Matrices de calidad y diseño de nuevos," *Interpharma*, año IV, no. 10, pp. 20-24, 2001.
- [19] E. Yacuzzi, "La gestión hoshin: un marco para la calidad," *Interpharma*, año V, no. 12, pp. 40-46, 2002.

Leonardo Emiro Contreras Bravo

Ingeniero mecánico. Magíster en Ingeniería. Docente de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Director del grupo de investigación Dimsi (Diseño Modelamiento y Simulación).

Correo electrónico: lecontrerasb@udistrital.edu.co

Wilmar Augusto Granados

Estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Miembro del grupo de investigación Dimsi (Diseño Modelamiento y Simulación).

Correo electrónico: wagranados@udistrital.edu.co

Instrucciones para los Autores

1. Introducción

La revista INGENIERÍA es una publicación periódica-científica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tiene como propósito principal divulgar los resultados de investigación de la comunidad académica de la Facultad del país y del exterior. Por tal motivo, los artículos que se publican en la revista deben tener relación con el trabajo en ingeniería, en general, y con las derivaciones de la ingeniería que se desarrollan en la Universidad, en particular. Su frecuencia es semestral (dos ediciones por año). Todo artículo es evaluado de manera doble-ciega por pares revisores antes de ser calificado como candidato para publicar. El Comité Editorial, tomando en cuenta los conceptos emitidos por los evaluadores y el cumplimiento de las políticas editoriales de la Revista, decide la publicación del artículo en una edición futura. Todos los artículos presentados a la revista INGENIERÍA deben ser inéditos. No se publicarán artículos que hayan sido anteriormente publicados o que hubieren sido sometidos por el autor o los autores a otros medios de difusión nacional o internacional para su publicación. Los artículos se publican conforme a la tipología definida del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología COLCIENCIAS, para revistas indexadas (*Artículo de investigación científica y tecnológica, Artículo de reflexión, Artículo de revisión, Artículo corto, Reporte de caso, Revisión de tema*). Se le dará prelación a los artículos de investigación científica y tecnológica, reflexión o revisión, en las diferentes ramas de la ingeniería.

2. Clasificación de los artículos

La clasificación de los artículos dentro de la revista INGENIERÍA se hace de acuerdo con la categorización sugerida por el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, COLCIENCIAS, para revistas científicas y tecnológicas indexadas. Los autores deben determinar a cuál de las categorías pertenece el artículo que están enviando, en la carta de presentación. (Véase la sección 3.1.)

Las categorías de los artículos están identificadas por el número de orden de la siguiente lista y sus características son:

- **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de

proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

- **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
- **Artículo de revisión.** Documento resultado de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.
- **Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.
- **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.
- **Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

La revista INGENIERÍA dará prelación a aquellos documentos que se clasificarían en los artículos tipo 1, 2 ó 3. El interés fundamental está en la divulgación del trabajo científico realizado en ingeniería, en general, y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital, en particular.

3. Presentación del documento

La plantilla para la elaboración de artículos en formato .doc puede descargarse del portal Web de la Revista en la siguiente dirección:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/4979/6709>

Los artículos deben ser escritos en hojas de papel de tamaño carta estándar (21,59 cm × 27,94 cm), en una sola columna. El tipo de letra en las columnas del artículo es Times New Roman o Calibri de tamaño 10. El espacio entre líneas es de uno (1) o espacio-sencillo. Los párrafos inician en la primera línea con una sangría de 0.3 cm.

La primera página del artículo debe contener título, resumen y palabras claves en español y en inglés, además de los datos de contacto de los autores. El título no debe contener más de 20 palabras y no debe incluir abreviaturas, paréntesis, fórmulas, siglas o caracteres desconocidos. Debe ser breve, preciso y codificable de manera que pueda ser registrado en índices internacionales. El Resumen debe tener una extensión máxima de 200 palabras, sin abreviaturas, ni referencias bibliográficas, ni caracteres desconocidos. En él se señala en forma concisa los objetivos, hallazgos y

conclusiones del estudio descrito en el artículo. El resumen debe ser comprensible sin necesidad de recurrir al resto del texto, figuras o tablas del artículo. Debe ir acompañado de máximo seis (6) palabras claves que describan los tópicos, áreas o temas más importantes del trabajo desarrollado.

El desarrollo del tema usualmente contempla secciones de Introducción, Revisión, Métodos, Materiales, Experimentos, Resultados, Discusión, Conclusiones, Agradecimientos,

Referencias y Apéndices. Cada sección va numerada con notación arábiga, con subsecciones en nivel de profundidad (i.e. 1., 1.1, 1.2, 1.3, 2., 2.1, etc.). Los resultados se pueden presentar en Tablas o Figuras, referenciadas desde el texto.

Las figuras van numeradas en orden de aparición en el texto del artículo con números arábigos, precedidos por la palabra “Figura” y en negrilla. Todas las figuras deben contar con una leyenda explicativa. Las imágenes deben tener una resolución mínima de 200 píxeles por pulgada. Las figuras deben ser en lo posible en tonalidades de gris, aunque también se aceptan en color si es necesario para el entendimiento del artículo. Las ecuaciones dentro de un artículo deben estar numeradas en orden de aparición. El número de ecuación va entre paréntesis y ajustado al lado derecho de la página mientras que la ecuación va centrada. Las tablas van numeradas en forma consecutiva en la medida que van apareciendo en el texto del artículo. Las tablas van encabezadas por la palabra “Tabla” y un número romano consecutivo, todo en negrilla. Todas las referencias bibliográficas deben estar citadas dentro del texto. Las referencias aparecen al final del artículo, después de las conclusiones. Las referencias deben listarse de manera numerada en el orden de aparición en el texto del artículo, con números arábigos entre corchetes cuadrados. El formato de presentación de referencias que acepta la Revista es el IEEE.

El artículo debe finalizar con un espacio dedicado a las biografías de los autores. En ellas deben aparecer: nombre completo, lugar de origen, título de pregrado, universidad, ciudad, país, títulos de postgrado, universidad, ciudad, país, experiencia profesional (cargo, institución, años de servicio) y datos de contacto.

4. Procedimiento para el envío de artículos para publicación

Se describe el procedimiento que deben seguir los autores para enviar artículos para publicación en la Revista INGENIERÍA.

Los autores deben enviar al Editor los siguientes documentos mediante la plataforma Open Journal System (OJS) de la Revista:

:

- Carta de presentación y originalidad del artículo: El formato de la presente carta puede descargarse en el siguiente enlace: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/pages/view/Formatos>. La finalidad de la carta es certificar que el artículo es inédito, que no está sometido a otra publicación y que se aceptan las normas de publicación de la Revista.
- El artículo en formato digital utilizando la plantilla y las normas de presentación que se pueden consultar en el siguiente link (instrucciones a los autores): <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/pages/view/Instructivos>. Se deben enviar dos (2) copias del artículo, una de ellas sin los nombres ni biografías de los autores.
- Los autores relacionarán en el correo de postulación del artículo dos posibles evaluadores que relacionarán las siguientes condiciones:
 - Debe tener al menos título de maestría
 - Pertener a una institución diferente a la de los autores
 - Haber realizado publicaciones en los últimos tres años

Nota: Enviar los datos de los contacto de los evaluadores (nombre completo, institución y correo electrónico) en el correo.

- En caso de ser aceptado, los autores del artículo se comprometen a diligenciar el formato de cesión de derechos para publicación. Se puede descargar en el siguiente enlace: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/pages/view/Formatos>