

- Calidad del agua en la quebrada Gualanday.
- Caracterización preliminar de aguas negras.
- Selección del mejor país de América Latina para invertir utilizando la técnica AHP.
- Development of pixel-based algorithms for face detection.
- Consideraciones tecnológicas como resultado de la construcción de la arquitectura empresarial para una institución de educación superior.
- Propiedades volumétricas de soluciones de asfaltenos en tolueno y su relación con el envejecimiento por uso de los asfaltos.
- Enseñanza de la física mediante la construcción de prototipos.

01 Enero - marzo de 2015



ISSN 0121-5132

P.V.P. Colombia \$12.000.00

CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

PRESIDENTE EDUARDO SILVA SÁNCHEZ

VOCALES MYRIAM ASTRID ANGARITA GÓMEZ
LUIS GUILLERMO AYCARDI BARRERO
RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
JUAN MANUEL LUNA GORDILLO
(representante de los profesores)
DIEGO MAURICIO PÉREZ BEJARANO
(representante de los estudiantes)

RECTOR GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS

SECRETARIO RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

DIRECTOR JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

COMITÉ EDITORIAL CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES
PAULA XIMENA RÍOS REYES
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS

DIRECCIÓN EDITORIAL CRISTINA SALAZAR PERDOMO

EDICIÓN **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA
CORRECCIÓN DE ESTILO
ELKIN RIVERA GÓMEZ
TRADUCCIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO EN INGLÉS
DAVID PEÑA CITA

DIRECCIÓN COMERCIAL EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Versión digital disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

AUTOPISTA NORTE AK 45 N.º 205-59
TEL.: (57-1) 668 3600, EXT. 533
revista@escuelaing.edu.co
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS. SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA SI SE CITAN LA FUENTE Y EL AUTOR.

Contenido

5 / EDITORIAL

25 años de la *Revista de la Escuela*

Germán Santos Granados

7-11

Calidad del agua en la quebrada Gualanday

Marley Rojas Gutiérrez

A lo largo de este artículo se describe la modelación de oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), realizada en la quebrada Gualanday (departamento del Tolima), con el fin de generar predicciones sobre la efectividad de los tratamientos primario y secundario de los afluentes de aguas residuales.

13-16

Caracterización preliminar de aguas negras

John Céspedes Romero

Las aguas negras agregan el mayor porcentaje de materia orgánica y sólidos suspendidos al agua residual doméstica. Se ha propuesto su reúso, pero para ello se requiere conocer sus características. En este artículo se presentan los resultados de la caracterización preliminar de un agua negra.

17-24

Selección del mejor país de América Latina para invertir utilizando la técnica AHP

Germán Eduardo Giraldo González - Cindy Yubelly Muñoz Ortiz

La inversión extranjera directa (IED) es uno de los componentes claves de la globalización y la integración de las economías en desarrollo, especialmente cuando el comercio internacional se ha duplicado (2,26 veces) en Latinoamérica durante el periodo 2009-2012. Esta tendencia creciente en la evolución de la IED ha aumentado el debate sobre cuáles son los principales factores que atraen la IED a los países de América Latina.

25-34

Development of pixel-based algorithms for face detection

Dominik Makowski - Sandra Cancino Suárez - Enrique Estupiñán Escalante

Múltiples aplicaciones de procesamiento de imágenes y video requieren la detección de rostros como una etapa en común para alcanzar otros objetivos. Por esta razón, el mejoramiento de la segmentación facial es necesario en términos de calidad y tiempo de ejecución. Este trabajo muestra algunos algoritmos basados en la información de los píxeles con una aproximación geométrica y de lógica difusa. Se describen y analizan los resultados de una evaluación cuantitativa de los algoritmos.

Contenido

35-46

Consideraciones tecnológicas como resultado de la construcción de la arquitectura empresarial para una institución de educación superior

Claudia Patricia Santiago Cely - Oswaldo Castillo Navetty

Las tecnologías de la información y la telecomunicación (TIC) permean todos los ámbitos de cualquier organización y por ello es clave aprovechar al máximo su uso. Basándose en las necesidades y modo de operación de una institución de educación superior, en este artículo se presenta una propuesta de una arquitectura tecnológica a partir de las recomendaciones del *framework* para construcción de arquitecturas empresariales Togaf.

47-52

Propiedades volumétricas de soluciones de asfaltenos en tolueno y su relación con el envejecimiento por uso de los asfaltos

Alberto Javier Gómez Esquivia

El propósito de este artículo es ilustrar en qué forma influyen entidades químicas como los asfaltenos en el comportamiento de los asfaltos, a partir del comportamiento volumétrico de sus soluciones en el envejecimiento por usos como ligantes para pavimentos.

53-58

Enseñanza de la física mediante la construcción de prototipos

Heindel Ricardo Otero A. - Carlos Collazos M. - Jaime Isaza C.

La estrategia de la construcción de prototipos (LCP) y el aprendizaje basado en proyectos (ApBP) se aplicaron durante dos semestres, en varios cursos de electricidad y magnetismo, para estudiantes de ingeniería de la Escuela Colombiana de Ingeniería durante el 2014.

La estrategia se enfoca en tres temas: electroscopio (proyecto1 P1), balanza de torsión (P2) y generador de Van de Graaff (P3).

59 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

25 años de la *Revista de la Escuela*

GERMÁN SANTOS GRANADOS

Primer director de la *Revista*

german.santos@escuelaing.edu.co

Resulta increíble que, desde hace ya 25 años, la *Revista* esté presente de manera ininterrumpida en la vida de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y que en sus páginas se hayan plasmado los enormes avances alcanzados desde entonces.

En el primer quinquenio de 1990 se respiraba un gran entusiasmo por emprender nuevos proyectos en la Escuela, que se reflejaría en el enorme progreso de la institución: los programas de pregrado en Ingeniería Industrial y Electrónica, los programas no formales de Educación Continuada, las especializaciones, la creación de la Editorial, la construcción del bloque C, el fortalecimiento de la planta profesoral y la definición de una nueva estructura organizacional. Se ofrecían tres programas de ingeniería a menos de 800 estudiantes. Las clases y la administración estaban concentradas en un solo edificio, y algunos laboratorios funcionaban en el galpón adaptado de la finca El Otoño.

Había muchas ilusiones de que la Escuela fuera una institución reconocida, con acreditación de alta calidad; afortunadamente, esto es hoy una realidad, y por eso quienes hemos tomado parte en esta construcción colectiva tenemos inmensos motivos de satisfacción. La Escuela Colombiana de Ingeniería ha graduado más de 10.000 profesionales de pregrado, 2300 especialistas y 130 magísteres; adicionalmente, ofrece 10 programas de pregrado, 9 especializaciones y 13 énfasis de 5 maes-

trías a más de 5000 estudiantes de pregrado y 650 de posgrado.

Es inevitable recorrer las páginas de las primeras revistas y volver a leer las opiniones de profesores, directivos y fundadores con inquietudes que, pese al paso del tiempo, no han perdido vigencia, como los retos de la formación de ingenieros, las tendencias de las profesiones, el perfil del profesor y el papel de la investigación en la academia.

En el primer editorial se manifestaba que “el propósito fundamental de la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* es ofrecer una tribuna a los ingenieros consagrados a la investigación y a la academia para la publicación de sus trabajos”.

Es inmensamente satisfactorio ver que este propósito se ha cumplido con creces y se extendió a los profesionales de Economía, Administración y Matemáticas. En sus 97 ediciones, la *Revista de la Escuela* ha sido testigo por excelencia de la evolución de las actividades de investigación, principalmente de sus profesores, y ha registrado los aportes y la producción intelectual de los centros de estudios y grupos de investigación. En los últimos años, esta publicación institucional se ha fortalecido gracias a la contribución de los estudiantes de las maestrías, que encuentran en este órgano de divulgación académica un espacio apropiado para compartir los hallazgos de su proceso de investigación.

La *Revista* sigue fiel a su compromiso de ser un medio de divulgación de la actividad propia, orientada sobre todo a su comunidad, porque uno de los propósitos de la institución es, justamente, contribuir a que sus experiencias sean útiles para profesionales y colegas en la academia y en la empresa. Ese es su sello. Se aparta de las exigencias actuales de la investigación científica de publicar en revistas indexadas internacionalmente, dirigidas en particular a profesionales de áreas específicas, pues considera fundamental la labor de presentar de manera clara la producción propia.

Hoy en día, con las bases firmes de los logros alcanzados, así como con el entusiasmo y el potencial de una comunidad mucho más grande, la Escuela continuará

afrontando nuevos retos: el complejo de laboratorios especializados, los currículos renovados, la internacionalización, la eficiencia administrativa, la consolidación de la extensión de los programas de posgrado, de la investigación y de la innovación. Seguramente, el fortalecimiento de las maestrías y las líneas de investigación en las áreas definidas conducirá muy pronto al planteamiento de un doctorado en Ingeniería, con énfasis en la solución de los problemas de la realidad nacional.

La *Revista*, testigo de excepción de todo este proceso, seguirá estando íntimamente ligada al progreso de la Escuela Colombiana de Ingeniería, apoyando de manera irrestricta los avances de la institución en busca de la excelencia.

Calidad del agua en la quebrada Gualanday

Water quality in the Gualanday stream

MARLEY ROJAS GUTIÉRREZ

Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

ingmarleyrojas@gmail.com

Recibido: 20/08/2014 Aceptado: 10/09/2014

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

A lo largo de este artículo se describe la modelación de oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) realizada en la quebrada Gualanday (departamento del Tolima), con el fin de generar predicciones sobre la efectividad de los tratamientos primario y secundario de los afluentes de aguas residuales.

Palabras claves: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), calidad del agua.

Abstract

This article shows the modelling of dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD) made for the Gualanday stream in the Tolima department with the object of generating predictions for the effectiveness of primary and secondary treatment of the wastewater tributaries.

Keywords: dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, water quality.

INTRODUCCIÓN

La modelación de la calidad del agua, en una fuente cualquiera, es una técnica para reproducir una serie de condiciones a través de expresiones matemáticas, las cuales representan los parámetros establecidos para la calidad del agua que se pretende estudiar o analizar. El modelo debe ser una aproximación razonable precisa de la condición real y contener el mayor número de factores, o aspectos relevantes, sin que su grado de complejidad tienda a complicar su aplicación o interpretación.

Los impactos en la calidad del agua presentan cambios en los indicadores ambientales, debido a las acciones de una actividad determinada. Con el fin de evaluar los planes alternativos de tratamiento para el control y manejo en la calidad del agua, se emplean modelos matemáticos que relacionan las entradas con algún tipo de carga orgánica, además de las salidas de agua que se generan sobre la fuente, los grados de tratamiento y la reubicación de los puntos de descarga de agua residuales. El aumento de los flujos mínimos y los

sistemas de tratamiento forman parte de algunas alternativas específicas, cuya influencia sobre la calidad del agua receptora puede evaluarse mediante la aplicación de modelos de calidad del agua.

La quebrada Gualanday, localizada en la meseta de Ibagué, genera múltiples usos a lo largo de su recorrido. La quebrada ha sido, por décadas, de gran importancia para el desarrollo, no sólo agroindustrial, sino como fuente de abastecimiento de la población de Gualanday, de la industria y de la recreación en la zona.

En la actualidad, la microcuenca Gualanday se encuentra sometida a fuertes presiones debido al mal manejo en el uso del recurso hídrico y a la explotación de los recursos naturales renovables y no renovables, para beneficio humano, a lo largo de su recorrido. Se observa la explotación de materiales de arrastre, deforestación, disposición de residuos y actividades agropecuarias en su cuenca, o recorrido, lo cual ocasiona alteraciones no sólo en la calidad del recurso hídrico, sino también en el estado en general de la cuenca (figura 1)⁽¹⁾.

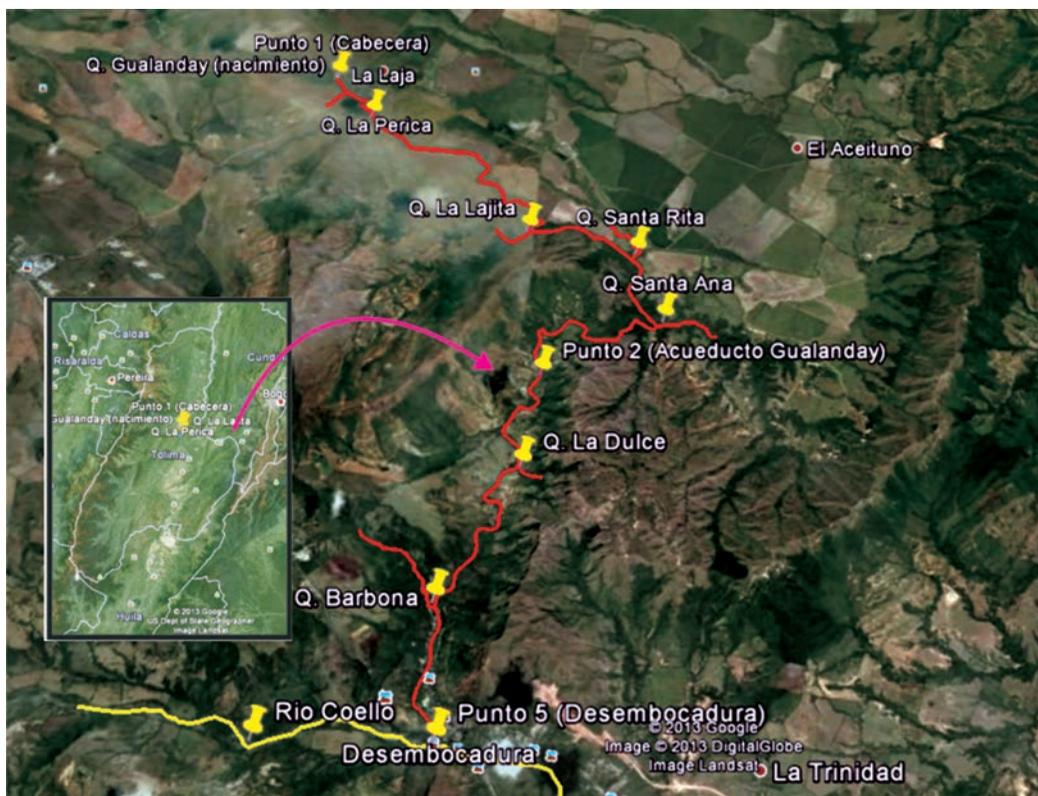


Figura 1. Microcuenca de la quebrada Gualanday y sus tributarios⁽²⁾.

Tabla 1
Resultados de la calidad del agua ⁽¹⁾

Parámetro	Descarga La Miel	Quebrada La Perica	Captación hacienda El Aceituno	Quebrada La Lajita	Quebrada Santa Rita	Quebrada Santa Ana	Quebrada Agua Dulce	Acueducto Gualanday	Quebrada Barbona	Descarga El Briceño	El Puente (extracciones)	Intervalos	Valores de referencia para fuente aceptable RAS 2000 ⁽⁷⁾
pH promedio	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,67	8,5	8	7,6	7,6 a 8,5	6,0-8,5
OD mg/L	4,5	6,9	6	6,7	7,9	5,4	6,3	5,8	5,3	3	5,5	3 a 7,9	>4
DBO ₅ mg/L	80	45	40	17	8	40	10	36	65	55	15	8 a 80	<1,5
Coliformes totales (NMP/100 mL)	270	281	230	192	196	189	183	166	175	190	201	166 a 281	0-50
Turbiedad UNT	2,5	2,8	2,8	3	2,5	1,9	2	2,3	2,4	2,5	2,6	1,9 a 3	<2

MUESTREO

Para evaluar la calidad de agua existente en la quebrada Gualanday se realizó una campaña de muestreo y se tomaron resultados publicados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Coello (Tolima), y en otros documentos de referencia^(3,4,5,6).

Para la simulación de OD y DBO se completó la información requerida a partir de las poblaciones que producen vertimientos, utilizando dotaciones y cargas por cápita, de acuerdo con las recomendaciones de la bibliografía especializada.

RESULTADOS

De acuerdo con los resultados de calidad del agua obtenidos durante el estudio realizado en la quebrada Gualanday (tabla 1), se observa que, en términos de pH, la fuente se clasifica como aceptable, y el OD es igualmente aceptable, con excepción de la descarga El Briceño ($3 < 4$). En materia de DBO, la concentración contaminante más alta ocurre en las descargas de La Miel, quebrada Barbona y descarga El Briceño, y la fuente clasifica como muy deficiente ($DBO > 4$); en co-

liformes es una fuente regular (50 - 500) y en turbiedad es fuente regular (2 - 40). Lo anterior indica que el agua de la quebrada Gualanday es apta para consumo humano, previo tratamiento convencional y desinfección⁽¹⁾.

MODELACIÓN

Los valores utilizados para la calibración del modelo QUAL2K, en términos de OD y DBO, corresponden a la situación existente de la fuente o escenario sin tratamiento. Las mediciones en campo se hicieron en tiempo seco, suponiendo que el escenario para estos casos será el más crítico. Los caudales de la fuente, de los tributarios y extracciones se relacionan más adelante (tabla 2).

Una vez calibrado el modelo, se simuló los escenarios de tratamiento primario y secundario, para remociones de DBO del 40 y 80 %, respectivamente⁽⁸⁾, suponiendo las mismas condiciones iniciales para oxígeno disuelto.

Posteriormente se incluyen los resultados de OD y DBO obtenidos con las simulaciones realizadas (tabla 1 y figuras 2 y 3).

Tabla 2
Datos para escenario sin tratamiento

Nombre de estación	Localización		Distancia (km)	Abscisa (km)	Altitud (msnm)	Q. afluente (m³/s)	Q. de la quebrada (m³/s)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Temp. °C	pH	V. de flujo (m/s)
	Norte	Este										
Descarga La Miel	973131	892266	0,756	14,830	712	0,005	0,108	4,50	80	23,0	7,6	0,40
Q. La Perica	973221	892241	0,200	14,630	696	0,028	0,136	6,9	45	23,2	7,6	0,40
Captación hacienda El Aceituno	973095	892399	0,600	14,030	681	-0,026	0,110	6,0	40	23,4	7,6	0,40
La Lajita	971498	894358	3,200	10,830	650	0,003	0,113	6,7	17	25,0	7,6	0,41
Q. Santa Rita	971088	895663	0,870	9,960	616	0,104	0,217	7,9	8	25,0	7,6	0,41
Q. Santa Ana	970229	895959	1,500	8,460	590	0,022	0,239	5,4	40	25,7	7,6	0,41
Q. Agua Dulce	970169	895648	1,900	6,560	575	0,032	0,272	6,3	10	23,3	7,6	0,41
Acueducto Gualanday	969514	894683	3,554	3,006	553	-0,025	0,247	5,8	36	25,0	7,6	0,42
Q. Barbona	966665	893789	2,100	0,906	541	0,085	0,331	5,3	65	25,3	8,5	0,42
Descarga El Briceño	966265	893813	0,400	0,506	496	0,005	0,336	3,0	55	24,8	8,0	0,42
El Puente (extracciones)	965646	893725	0,506	0,000	480	-0,004	0,332	5,50	15	25,0	7,6	0,42

Tabla 3
Resultados de la calidad del agua

Estación	Abscisa (km)	Q (m³/s)	Condición actual		Con tratamiento primario		Con tratamiento secundario	
			OD (mg/L)	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)
Cabecera	0,000	0,103	6,8	17	6,8	17	6,8	17
Descarga La Miel	0,756	0,005	6,26	16,7	6,4	16,7	6,6	16,7
Quebrada La Perica	0,956	0,028	6,09	24,2	6,3	20	6,5	15
Captación hacienda El Aceituno	1,556	-0,026	6,05	23,5	6,6	20	6,7	14,5
Quebrada La Lajita	4,756	0,003	6,5	20,2	6,7	16,5	7	13
Quebrada Santa Rita	5,626	0,104	6,7	14	6,7	10	7,1	7
Quebrada Santa Ana	7,126	0,022	6,2	15	6,5	11	6,8	7
Quebrada Agua Dulce	9,026	0,032	6,3	14	6,5	10	6,8	6,4
Acueducto Gualanday	12,58	-0,025	6,8	12	7	9	7,2	6,2
Quebrada Barbona	14,68	0,085	6,3	25	6,5	16,5	6,8	8
Descarga El Briceño	15,08	0,005	5,9	24	6,4	16,6	6,8	8
El Puente (extracciones)	15,59	-0,004	6,02	25	6,5	16	7	8
Desembocadura	16,32	0,332	5,6	24	6,3	16	6,9	8

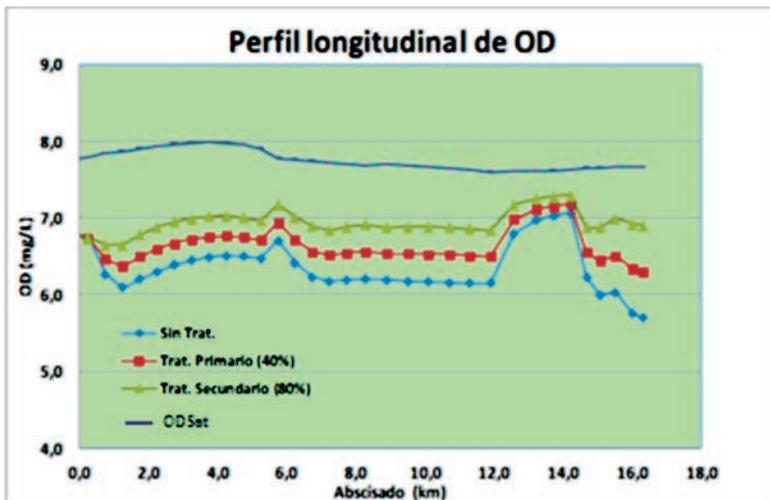


Figura 2. Perfiles de oxígeno disuelto según la simulación.

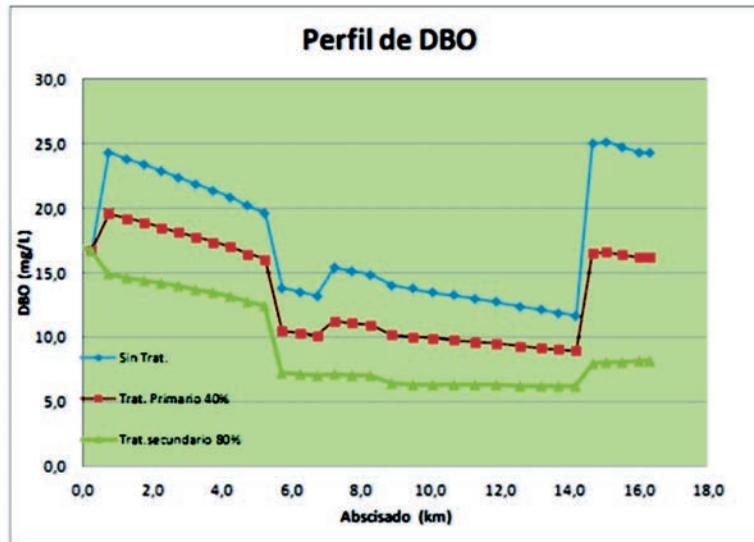


Figura 3. Perfil de DBO según las simulaciones.

CONCLUSIONES

- Las cargas contaminantes más altas, en materia de DBO, provienen de las descargas La Miel, quebradas Barbona, El Briceño y La Perica.
- En las condiciones actuales, la quebrada Gualanday exhibe OD entre 5,6 y 6,8 mg/L y DBO entre 12 y 25 mg/L.
- El tratamiento primario de los principales afluentes de la quebrada Gualanday permitiría elevar el nivel de OD, en la desembocadura, de 5,6 a 6,3 mg/L.
- El tratamiento secundario de los principales afluentes de la quebrada Gualanday permitiría elevar los niveles de OD en la desembocadura de 5,6 a 6,9 mg/L.
- El tratamiento primario de los principales afluentes de la quebrada Gualanday permitiría reducir la DBO, en la desembocadura, de 24 a 16 mg/L.
- El tratamiento secundario de los principales afluentes de la quebrada Gualanday permitiría reducir la DBO, en la desembocadura, de 24 a 8 mg/L.
- La quebrada Gualanday, en lo referente a calidad de agua (pH, DBO, OD, CT y turbiedad), clasifica como agua apta para consumo humano, previo tratamiento convencional y desinfección.
- Se hace necesario validar, en campañas futuras de muestreo, los resultados de las simulaciones hechas.

- Se recomienda establecer un control apropiado de la disposición de residuos sólidos en las zonas de atracción turística de la cuenca Gualanday, así como de las disposiciones individuales provenientes de tuberías domésticas, tanques sépticos y actividades de lavado de ropa realizadas por los habitantes de las riberas de la quebrada Gualanday.

REFERENCIAS

1. Rojas Gutiérrez, M. (2014). Análisis hídrico de la quebrada Gualanday, Tolima. Trabajo de grado. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. US Dept. of State Geographer (2014). Google Earth, imagen tomada en 2012/06/04.
3. Concejo Municipal (2005). Plan de Ordenamiento Territorial de Ibagué, POT de Ibagué. Alcaldía Municipal, boletín de prensa.
4. Concejo Municipal (2003). Esquema de Ordenamiento Territorial de Coello, POT de Coello. Alcaldía Municipal, boletín de prensa.
5. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) (2012). Datos estadísticos tomados de estaciones.
6. Corporación Autónoma Regional del Tolima (2003). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Coello, boletín de prensa.
7. Ministerio de Desarrollo Económico (2000). Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, título C.
8. Romero Rojas, J.A. (2008). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño* (2.ª reimp.). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Caracterización preliminar de aguas negras

Blackwater preliminary characterization

JOHN CÉSPEDES ROMERO

Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

johncespedes11@yahoo.es

Recibido: 28/08/2014 Aceptado: 12/09/2014

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

Las aguas negras agregan el mayor porcentaje de materia orgánica y sólidos suspendidos al agua residual doméstica. Se ha propuesto su reúso, pero para ello se requiere conocer sus características. En este artículo se presentan los resultados de la caracterización preliminar de un agua negra⁽¹⁾.

Abstract

Blackwater is the main contributor of organic matter and suspended solids to the domestic wastewater. Its reuse has been proposed and, for that, it is necessary to know its characteristics. This article describes the results of the preliminary characterization of blackwater.

INTRODUCCIÓN

La reutilización de las aguas negras data de muchos años atrás; mil años antes de Cristo, las aguas negras de Jerusalén desembocaban en un estanque de sedimentación y se utilizaban para riego.

Un 60 a 80 % de las aguas de consumo doméstico son transformadas en aguas residuales. El aporte de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) es muy importante porque son las que contienen la mayor carga contaminante, ya que mediante ellas se transporta la materia fecal y la orina, con sus contaminantes principales representados en materia orgánica (DBO), sólidos suspendidos, nutrientes y probables organismos patógenos.

Las aguas negras se definen como las aguas que provienen de inodoros y orinales, es decir, las que están contaminadas por la orina y las heces humanas. El uso más generalizado que se les da a las aguas negras tratadas es el de la irrigación de zonas verdes y jardines. Sin embargo, también se pueden tratar para usos que requieran una mayor calidad de agua; éstos necesitarán un sistema de tratamiento más avanzado y menos económico, que depende de las características del agua negra cruda y de los requerimientos de calidad exigidos para el efluente, según su uso.

ANTECEDENTES

- **Hotel Arabella, Alemania**⁽²⁾. Este edificio presenta reciclaje de aguas grises. En él, las aguas de regaderas y tinas de las habitaciones son tratadas con unidades de contacto biológico rotativo y reusadas en los sanitarios. El agua lluvia es recolectada y reutilizada para irrigación de jardines del hotel.
- **Edificio de la KFW (Alemania)**⁽²⁾. Esta construcción cuenta con reciclaje de aguas grises, recolección de aguas lluvias y negras por vacío para tratamiento anaerobio desde el año 2003.
- **Proyecto Erdos-Eco Town, Dongsheng, China**⁽²⁾. Este proyecto tendrá sanitarios secos, separadores de orina, sistema de colección de aguas grises, tratamiento en un sistema descentralizado, y reúso de compost (heces y residuos orgánicos) y orina en agricultura
- **Campo de Fútbol de Vilanova I Geltru (Barcelona)**⁽²⁾. Posee un depósito encerrado de 16 m³ para la reutilización de aguas grises procedentes de las duchas y de la recogida de las aguas lluvias.

- **Edificio Solaire (Manhattan)**⁽²⁾. Considerado como el primer edificio verde de gran altura, ha generado atención en todo el mundo, desde que en 2003 recibió la certificación LEED de Oro porque, entre otras características, reutiliza las aguas negras.
- **Edificio Water Gardens⁽³⁾, Santa Mónica (California)**. En este edificio se contempló la construcción de una planta de tratamiento para reúso de aguas negras con fines de riego paisajístico y descarga de sanitarios. A continuación se ilustran las condiciones del proyecto.



TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EDIFICIO WATER GARDENS, SANTA MÓNICA (CALIFORNIA).

- **Fay School**⁽³⁾. Esta escuela privada e internado para estudiantes de primaria y secundaria en Southborough (Massachusetts) consta de 22 edificios que albergan 552 estudiantes y profesores, el 30 % de los cuales reside en el campus como parte del internado. En el año 2011, la escuela estaba produciendo 30 m³/d de aguas residuales y proyecta un crecimiento del 20 % en el número de estudiantes y profesores, lo cual resulta en una producción de aguas residuales en el futuro de 40 m³/d. En esta escuela se identificaron las oportunidades más significativas para la reutilización del agua, entre éstas el ahorro y la reducción del uso del agua innecesaria, la conciencia ambiental y las

oportunidades de enseñanza sostenible, así como el potencial para la certificación LEED de Oro.

El sistema está diseñado para producir concentraciones de nitrógeno total en el efluente por debajo de 10 mg/L, las membranas para producir efluente filtrado con menos de 2 UNT, como se requiere para su reutilización en el estado de Massachusetts, y la desinfección ultravioleta para cumplir con los límites de reutilización de menos de 14 UFC/100 mL, como concentración promedio mensual de coliformes fecales.

- **Corporación EMC⁽³⁾**. Fabrica sistemas electrónicos de almacenamiento de datos en su planta de 92.903 m², ubicada en Hopkinton (Massachusetts).

La planta de tratamiento incluye un reactor discontinuo secuencial de lodos activados –“proceso sludged”–, seguido de tela de filtración y de desinfección UV antes de su almacenamiento en un depósito de agua tratada. La planta entró en servicio en el año 2000 y tiene una capacidad de 314 m³/d. Cerca del 25 % se utiliza para el lavado higiénico y el 75 % restante se usa para recarga de acuíferos y en riego. Aproximadamente, 18.000 m³ de agua se regeneran por año.

- **Gillette Stadium⁽³⁾**. Se prevé que el nuevo estadio Gillette aumente la demanda de agua potable hasta en 600.000 galones por día, 2300 m³/d, durante los partidos en casa, en gran parte debido a la descarga de inodoros.

Se construyó una planta de regeneración de aguas residuales que trata 11 L/s, ampliable a 57 L/s, junto con un sistema de percolación de una parte del agua reciclada. La planta incluye un biorreactor de membrana, ozono y desinfección UV.

En promedio, un 60 % del agua residual se reutiliza para aseo en el estadio. El agua recuperada restante se bombea al sistema de recarga de aguas subterráneas.

- **Fallingwater Conservation⁽³⁾**. En 1999, el Western Pennsylvania Conservancy (WPC) puso en marcha un plan de reutilización de agua.

El centro de visitantes e instalaciones *in situ* produce aproximadamente 30 m³/d de aguas residuales, que se bombean a la planta de tratamiento.

Los procesos de tratamiento incluyen un biorreactor de membrana, seguido por adsorción con carbón y desinfección UV. El agua regenerada se recicla para

utilizarla como agua en el pabellón de los visitantes y en otros edificios del sitio, así como para irrigación.

- **Edificios en Japón⁽³⁾**. En Japón, existen alrededor de 2500 edificios con reutilización de aguas residuales para una variedad de propósitos. El agua se usa más comúnmente para la descarga de inodoros, pero también para el riego de jardines, enfriamiento, limpieza de vehículos y protección contra incendios.

En Colombia no se reportan aún casos de reúso de aguas negras en edificaciones.

MUESTREO

Se prepararon muestras para caracterización con el producto de una deposición y una descarga de orina diaria, de 6:00 a 6:30 a.m., diluidas en seis litros. El autor analizó las muestras siguiendo los procedimientos del Standard Methods⁽⁴⁾.

RESULTADOS

Los resultados de la caracterización preliminar realizada se incluyen en la tabla que aparece en la página siguiente (tabla 1).

CONCLUSIONES

Las aguas negras analizadas clasifican como aguas residuales fuertes de turbiedad muy alta 1600 a > 4000 UNT; alcalinas, 600 a 1100 mg/L y con pH de 7,1 a 9,4. Son aguas duras, 180 a 500 mg/L, con concentración de hierro y manganeso muy alta, 54 mg/L – Fe y 22 a 136 mg/L – Mn, exhiben alta concentración de sólidos sedimentables, 0,6 a 7 mL/L en una hora, coliformes fecales, en todos los casos, mayores de 2 x 10¹¹ CF/100 mL, alta concentración de DBO, 1194 a 1731 mg/L, DQO de 1500 a 2933 mg/L; con relación DBO/DQO de 0,5 a 0,96, que indica su condición de agua predominantemente orgánica biodegradable.

Los resultados observados indican que para hacer reúso de las aguas negras es necesario confirmar, en cada caso, sus características, su variabilidad y los requerimientos de tratamiento. Es recomendable continuar con la investigación preliminar realizada y aportar un mayor conocimiento, haciendo un muestreo y análisis de aguas negras intensivo y completo.

Tabla 1
Características de aguas negras⁽¹⁾

Parámetro	Unidad	M. 1	M. 2	M. 3	M. 4	M.5	Prom.	Intervalo
Temperatura	°C	18	18	19	18	18	18	18-19
Turbiedad	UNT	>4000	2009	>4000	2305	1600	ND	1600->4000
pH		8,38	8,17	8,74	9,39	7,12	8,36	7,12-9,39
Alcalinidad	mg/L-CaCO ₃	800	600	1,100	900	700	820	600-1100
Dureza	mg/LCaCO ₃	360	220	180	500	400	332	180-500
Hierro	mg/L	ND	ND	ND	54	53	54	53-54
Manganeso	mg/L	91	22	136	71	91	82	22-136
Cloruros	mg/L	91	45	182	137	200	13	45-200
Sólidos suspendidos totales	mg/L	433	626	1,000	525	720	661	433-1000
Sólidos sedimentables (1 hora)	mL/L	1	0,6	7	3	5	3,3	0,6-7
DBO ₅	mg/L – O ₂	1672	1194	1731	1200	1700	149 9	1194-1731
DQO	mg/L– O ₂	2933	2400	1800	1500	2200	2167	1500-2933
DBO/DQO	-	0,57	0,50	0,96	0,80	0,77	0,72	0,50 – 0,96
Densidad	g/L	1070	1030	1047	1046	1018	1042	1018-1070
Coliformes fecales	UFC/100 mL	>2 x 10 ¹¹	>>2 x 10 ¹¹	ND				

ND: No disponibles.

REFERENCIAS

1. Céspedes Romero, J. (2014). Factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones. Trabajo de grado, maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. <http://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/jsp/prensa.jsp?id:87>, febrero 11 de 2013.
3. Usepa (2012). Guidelines for Water Reuse, International Case Studies.
4. APHA, AWWA, WEF (s.f.). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed.

Selección del mejor país de América Latina para invertir utilizando la técnica AHP

Selecting the Best Latin American country for investment using the AHP technique

GERMÁN EDUARDO GIRALDO GONZÁLEZ¹ - CINDY YUBELLY MUÑOZ ORTIZ²

1. Ingeniero industrial, M.Sc., PMP. Profesor de la Unidad de Proyectos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Ingeniera industrial. Estudiante de Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

german.giraldo@escuelaing.edu.co - Cindy Yubelly Muñoz Ortiz - cindyubelly_1012@hotmail.com

Recibido: 01/09/2014 Aceptado: 15/09/2014

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

La inversión extranjera directa (IED) es uno de los componentes claves de la globalización y la integración de las economías en desarrollo, especialmente cuando el comercio internacional se ha duplicado (2,26 veces) en Latinoamérica durante el periodo 2009-2012. Esta tendencia creciente en la evolución de la IED ha aumentado el debate sobre cuáles son los principales factores que atraen la IED a los países de América Latina. Con el fin de tomar la mejor decisión posible y seleccionar el mejor país para invertir, sería deseable tener criterios de decisión adecuados a disposición de los inversionistas. El problema de la selección del mejor país para invertir es un tema común en el entorno económico actual y depende de factores monetarios y no monetarios. En este estudio, el proceso analítico jerárquico (AHP) se utiliza para ayudar a los inversionistas a tomar una decisión racional en este contexto y seleccionar el mejor país para invertir. Los resultados muestran coherencia con la clasificación obtenida por el Foro Económico Mundial (FEE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).

Palabras claves: inversión extranjera directa (IED), proceso analítico jerárquico, América Latina, selección de país.

Abstract

The Foreign Direct Investment (FDI) is one of the key components of globalization and integration of developing economies, especially when international trade has doubled (2.26 times) in Latin America during the 2009-2012 period. This trend in the FDI evolution has enhanced the debate about what the main factors that attract FDI to Latin American countries are. In order to make the best decision possible and select the best country to invest, it would be desirable to have decision criteria available to the investors. The problem of selecting a country to invest in is a common topic in the current economic environment and depends on several monetary and non-monetary factors. In this study, an analytical hierarchical process (AHP) is used to help investors make a rational decision within this context. The results show consistency with the ranking obtained by the World Economic Forum (WEF) and The Economic Commission for Latin America and the Caribbean (Cepal).

Keywords: foreign direct investment (FDI), analytical hierarchical process, Latin America, country selection.

INTRODUCCIÓN

La inversión extranjera directa (IED) es uno de los componentes claves de la globalización y la integración de las economías en desarrollo (Alguacil et al., 2011), más aún cuando el comercio internacional se ha duplicado y este tipo de inversión se ha multiplicado en los últimos años (Yeyati et al., 2007). En los países latinoamericanos, la IED ha ido en aumento durante los últimos años, mostrando una tendencia creciente desde el 2003 y un récord histórico de crecimiento sostenido desde el 2010, alcanzando en 2012 la cifra de 173.361 millones de dólares y en 2013 la cifra récord de 185.000 millones de dólares (*The Wall Street Journal*, 2014), un resultado particularmente significativo cuando se compara con la IED del periodo 2000-2006, que presentó un total de apenas 68.183 millones de dólares (*Portafolio.co*, 2013). La IED en esta región durante el periodo 2009-2013 ha aumentado 2,41 veces, teniendo en cuenta que el punto más bajo fue en el 2009 con 76.681 millones de dólares, año en que la economía mundial sufrió las consecuencias de la mayor crisis económica desde la Gran Depresión en la década de los treinta (Cepal, 2010). Esta tendencia en la evolución de la IED ha acentuado el debate sobre cuáles son los principales factores que atraen a los inversionistas (Alguacil et al., 2011).

Es importante reconocer que cada país es diferente y que cada uno tiene diversos factores que atraen la IED, por lo que esta decisión contiene varios aspectos (comúnmente llamados criterios, atributos o factores) que se deben analizar de manera adecuada, con el fin de tomar la mejor decisión de inversión y aumentar así su probabilidad de éxito (Cabrera & Giraldo, 2009). Por esto es necesario aplicar metodologías que permitan incluir varios factores económicos claves y la relación entre ellos, así como las opciones de inversión.

El principal objetivo de este artículo es crear una escala (*ranking*) de los países de América Latina como alternativas de inversión mediante la utilización de la técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*, en español proceso analítico jerárquico), ayudando a los inversionistas a resolver los conflictos entre los intereses, tomando una decisión más racional sobre la localización o lugar en el cual se hará la inversión.

EL ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTICRITERIO (MCDA) Y LOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA

El análisis de decisión multicriterio (MCDA) es una subdisciplina de la investigación de operaciones, cuya función principal es resolver el problema que tienen las personas al momento de tomar decisiones que incluyen grandes cantidades de información relacionada con varias alternativas y múltiples criterios de decisión. Las técnicas MCDA pueden ayudar a seleccionar una alternativa única, una gama de opciones, una lista, o simplemente determinar qué alternativa sería aceptable y cuál no (DCLG, 2009). Entre los métodos MCDA más comunes, ampliamente conocidos y estudiados, están Electre, Promethee, AHP y Topsis. El método AHP, desarrollado por Saaty (Saaty, 1977 y 1980), descompone el problema a sus elementos en varios niveles de jerarquía. En el primer nivel (nivel más alto), se establece el problema o la meta que hay que alcanzar. En el segundo nivel, se definen los subobjetivos o criterios de selección. Por último, en el tercer y último nivel (nivel más bajo) se definen las alternativas. El AHP es el método más ampliamente difundido y probado en el mundo.

Algunos autores han desarrollado enfoques y comparaciones específicas sobre algunos países de América que utilizan el método AHP y otras técnicas. Un resumen de estos estudios, los métodos, el número de alternativas y criterios (atributos) utilizados se presenta a continuación (tabla 1).

Tabla 1
Investigaciones MCDA que involucran países latinoamericanos

Año	Autor	Método utilizado	Número de países latinoamericanos	Número de atributos
2004	Treviño and Mixon	Regresión	7	6
2004	Frenkel et al.	Regresión	5	6
2006	Galán and Benito	Anova	11	-
2006	Beim and Lévesque	MCDA	3	15
2008	Treviño et al.	Regresión	16	4
2008	Liu et al.	AHP	2	51
2009	Cabrera and Giraldo	AHP	5	17
2009	Hortacsu and Tektas	AHP	5	15

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS (PAÍSES) Y ATRIBUTOS (FACTORES)

Como alternativas se seleccionaron todos las naciones de América Latina (América Latina y el Caribe), con las que se conformó un grupo de 19 países, los cuales se seleccionaron utilizando la definición de América Latina como un conjunto de países independientes (países de habla española) del continente americano (excluyendo Puerto Rico), incluyendo a Brasil (de habla portuguesa) y Haití (donde el francés es una lengua oficial) (tabla 2).

Tabla 2
Alternativas seleccionadas: países latinoamericanos

N.º	Alternativa	N.º	Alternativa	N.º	Alternativa
1	Argentina	8	El Salvador	15	Paraguay
2	Bolivia	9	Guatemala	16	Perú
3	Brasil	10	Haití	17	República Dominicana
4	Chile	11	Honduras	18	Uruguay
5	Colombia	12	México	19	Venezuela
6	Costa Rica	13	Nicaragua		
7	Ecuador	14	Panamá		

Con el fin de seleccionar los atributos (factores) se recurrió a diferentes fuentes de información, tales como estudios, publicaciones y organizaciones de gran

importancia y relevancia en temas económicos, entre éstos el Foro Económico Mundial y la Cepal (Cepal, 2010, & WEF, 2011). En la tabla siguiente se presenta el resumen de estas fuentes (tabla 3).

APLICACIÓN DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

El proceso analítico jerárquico, desarrollado por Saaty (1980), es una jerarquía basada en la comparación por pares de dos tipos de elementos: los atributos y las alternativas. El objetivo principal del proceso es clasificar las alternativas utilizando los pesos de los atributos y subatributos que indican la fuerza de cada uno de ellos. La técnica se ha mejorado con el tiempo, sobre todo gracias a que Saaty la perfeccionó en los años 2003, 2005, 2006, 2007 y 2008.

El proceso para la AHP lo explicaron muy bien Canada et al. (2005) de la siguiente manera:

1. Construcción de una jerarquía de decisiones mediante la identificación de los elementos y las alternativas de decisión.
2. Determinación de la importancia relativa de los atributos y subatributos (si existe).
3. Determinación de la posición relativa (peso) de cada alternativa con respecto a cada nivel inmediatamente superior de atributo o subatributo.

Tabla 3
Atributos, rangos y unidades utilizados

Atributo	Fuente	Rango / Unidades
Corrupción	http://www.transparency.org/cpi2010/results Transparencia Internacional (2010)	Escala (1-10)
Salario mínimo	http://datos.bancomundial.org/ Banco Mundial (2013). Reporte Mundial de Salarios 2010/2011	Dólares internacionales
Desarrollo humano	http://hdr.undp.org/es/informes/mundial/idh2010/capitulos/ Naciones Unidas (2010). Reporte: Desarrollo Humano (2010)	Escala (0-1)
Desempleo total	http://datos.bancomundial.org/ Banco Mundial (2010)	Porcentaje
Efectividad del gobierno	http://datos.bancomundial.org/ Banco Mundial (2010)	Escala (-2,5 – 2,5)
Inflación	http://www.javierforero.com/2011/01/tasas-de-inflacion-en-america-latina.html Philia Sophia - Javier Forero (2010)	Porcentaje
Poder adquisitivo	http://datos.bancomundial.org/indicador/ Banco Mundial (2010)	Dólares internacionales
Monto de los impuestos pagados por las empresas	http://datos.bancomundial.org/ Banco Mundial (2010)	Dólares internacionales
Tasa de interés	http://datos.bancomundial.org/ Banco Mundial (2010)	Porcentaje
Protección a los inversionistas	http://espanol.doingbusiness.org/data/distance-to-frontier Doing Business (2010)	Escala (0-100)

4. Determinación del indicador (o los indicadores) de la coherencia en las comparaciones por pares.
5. Determinación del peso prioridad general (puntuación) de cada alternativa.

La estructura para el problema analizado en este estudio consta de tres niveles. En el primer nivel se presenta el problema (selección del mejor país de América Latina para invertir); en el segundo nivel se establecen los criterios de selección (diez atributos o factores), y en el tercer y último nivel se muestran las alternativas (19 países de América Latina). Más adelante se pueden ver la estructura para el problema y los datos correspondientes a cada uno de los factores y alternativas seleccionados (figura 1 y tabla 4).

Supuestos

Los supuestos son iguales a los considerados en Cabrera y Giraldo (2009):

- Existen muchos tipos de inversores con diferente nacionalidad, idioma, cultura, distancia al país de acogida, etc., por lo cual la evaluación es totalmente subjetiva. Otros inversores podrían dar distintos valores, de acuerdo con su percepción, análisis o preferencias, lo cual podría cambiar la clasificación (*ranking*).

- Los datos se basan en factores promedio o comunes. Los rangos para varios factores pueden ser diferentes entre sí, por lo que se han cambiado los rangos de los factores, manteniendo coherencia en los valores para que se puedan comparar entre sí.
- Una suposición implícita que afecta a los factores es que un atributo puede afectar a otro, haciéndolos dependientes. Por simplicidad, para la aplicación de la técnica AHP, se presume que los atributos son independientes uno de otro.

RESULTADOS

El resultado final de la aplicación de la técnica AHP es la clasificación o listado de las alternativas. Esta clasificación da al inversionista una idea sobre qué país es mejor para efectuar la inversión, convirtiéndose en una herramienta útil para la toma de decisiones. El modelo desarrollado puede cambiar con la percepción u opinión del inversionista o la variación de cualquiera de los factores que inevitablemente cambian con el tiempo, debido a diferentes causas, tales como las políticas, factores culturales o sociales, entre muchos otros.

Con el propósito de determinar la importancia de cada uno de los atributos se utilizó la “escala ordinal” o “método de comparaciones por pares” que se mues-

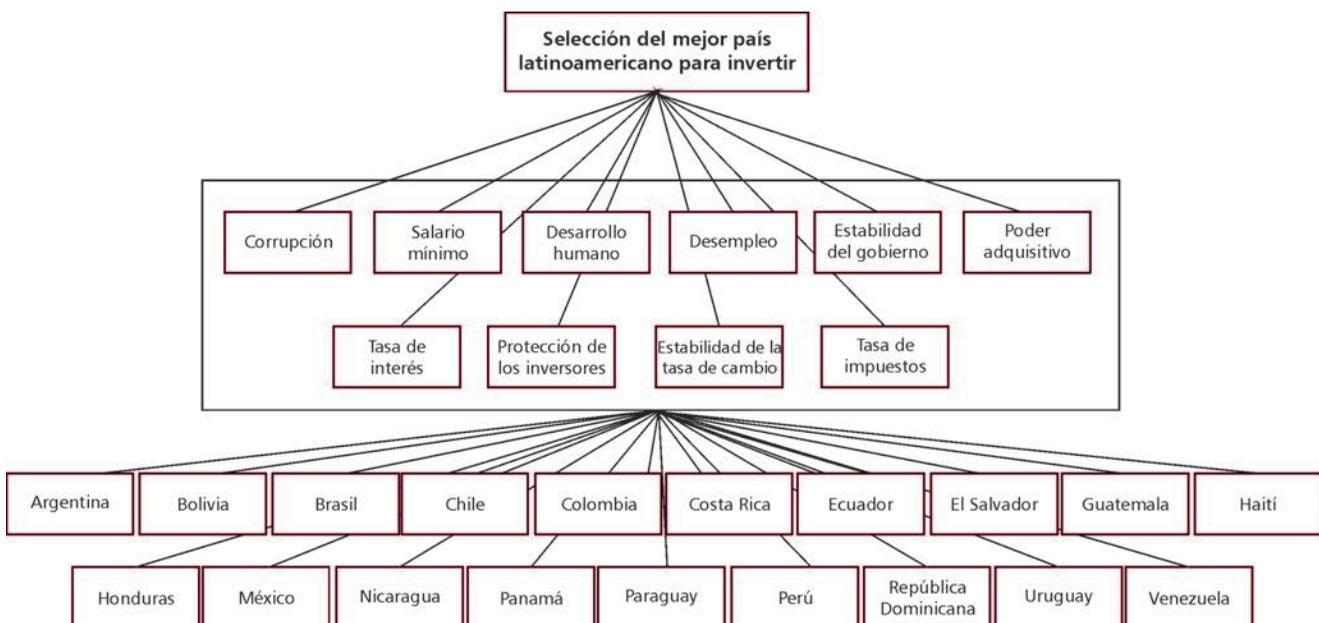


Figura 1. Estructura jerárquica para el problema de la selección del mejor país para invertir.

Tabla 4
Jerarquía (ranking) de países latinoamericanos resultante por el método AHP

N.º	Países/ factores	Corrupción	Salario mínimo (PPP\$)	Desarrollo humano (esperanza de vida, alfabetización, educación y nivel de vida)	Desempleo total (%)	Estabilidad del gobierno	Inflación (%)	Poder adquisitivo INB per cápita, PPA (a \$ internacionales actuales)	Tasa de impuestos- Pagos de (número)	Tasa de interés (%)	Protección de los inversores	Estabilidad de la tasa de cambio
1.	Argentina	2,9	896	0,78	7,7	-0,21	10,90	\$15.941	9	4,3	47,4	-4,5
2.	Bolivia	2,8	215	0,64	6,5	-0,45	7,20	\$4.510	42	1,4	41,9	0,3
3.	Brasil	3,7	286	0,70	6,7	0,07	5,90	\$10.980	9	5,7	55,9	1,2
4.	Chile	7,2	400	0,78	8,1	1,18	3,00	\$17.360	6	2,5	62,2	3,5
5.	Colombia	3,5	390	0,69	11,6	0,14	3,20	\$8.990	20	6,9	86,3	2,1
6.	Costa Rica	5,3	489	0,73	7,3	0,32	5,80	\$11.290	42	3,7	31,9	10,7
7.	Ecuador	2,5	490	0,70	5,0	-0,67	3,30	\$8.400	8	2,7	41,9	0,0
8.	El Salvador	3,6	304	0,66	7,0	0,01	2,10	\$6.440	53	9,8	26,7	0,0
9.	Guatemala	3,2	344	0,56	3,5	-0,7	5,40	\$4.640	24	5,9	34,1	5,0
10.	Haití	2,2	209	0,40	40,6	-1,61	4,20	\$1.120	46	1,1	31,1	0,00
11.	Honduras	2,4	432	0,60	4,8	-0,67	6,50	\$3.710	47	1,3	31,9	0,00
12.	México	3,1	170	0,75	5,2	0,17	4,40	\$14.430	6	3,4	61,9	2,0
13.	Nicaragua	2,5	198	0,57	8,0	-0,96	9,23	\$3.510	64	3,5	51,9	-4,6
14.	Panamá	3,6	451	0,76	6,5	0,14	3,50	\$14.310	52	3,6	54,8	0,0
15.	Paraguay	2,2	559	0,64	5,7	-0,92	7,20	\$5.480	35	1,4	58,5	1,4
16.	Perú	3,5	334	0,72	7,9	-0,21	2,10	\$8.750	9	6,8	68,5	1,1
17.	Rep. Dominicana	3,0	221	0,66	12,4	-0,63	6,24	\$8.920	9	3,8	58,1	-3,9
18.	Uruguay	6,9	258	0,77	6,8	0,65	6,90	\$13.410	57	6,9	51,5	-1,8
19.	Venezuela	2,0	4,81	0,70	8,6	-1,02	27,20	\$11.900	70	4,8	24,1	-36,2

tra en Canada et al. (2005). Los resultados permiten apreciar que los principales factores son el desempleo total (18,26 %), el desarrollo humano (16,52 %), la corrupción (14,78 %) y la protección de los inversores (11,30 %) (tabla 5).

Para cada uno de los atributos se determinó una matriz de comparación de alternativas, donde la escala de calificación utilizada fue la sugerida por Saaty (1980) para calificar la magnitud de la fuerza o la preferencia de cada uno de los elementos de toma (alternativas) en comparación con la descansar. Posteriormente se muestra la escala propuesta por Saaty (1980) (tabla 6).

El nivel de consistencia de los juicios subjetivos realizados por los dos analistas que participaron en el ejercicio se evalúa a través del indicador de consistencia (*Consistency Ratio*, CR), que es una aproximación matemática que representa la consistencia de las comparaciones realizadas (Canada et al., 2005). Los resultados obtenidos son consistentes según la relación de consistencia (CR) presentada en Canadá et al. (2005) con un valor de 0,09546 (donde $<0,1$ es aceptable (Saaty, 1980).

Finalmente, se muestra la clasificación de las alternativas (países), donde Chile aparece como la mejor opción con 9,42 % de importancia, seguido por Argentina (7,75 %), Uruguay (6,69 %), México (6,59 %), Panamá (6,11 %), Costa Rica (5,74 %) y Colombia (5,73 %) (figura 2 y tabla 7). La clasificación obtenida es consistente con los datos y resultados obtenidos por WEF (2010-2011 y 2012-2013), donde Chile aparece como la

mejor opción: “Muestra un rendimiento más estable y sigue siendo la economía más competitiva de América Latina. Un marco macroeconómico muy sólido, con muy bajos niveles de deuda pública y un presupuesto del gobierno en superávit, junto con el buen funcionamiento y las instituciones públicas transparentes y las infraestructuras de transporte bastante bien desarrolladas, proporcionan a Chile una base sólida sobre la que construir y mantener su liderazgo en competitividad en la región” (WEF, 2012), mientras que la Cepal (2010) presenta a Chile como la tercera economía más grande de la región, con una mayor inversión extranjera directa (2010: 15.095 millones de dólares).

Tabla 6

Escala de evaluación de la magnitud de la fuerza o preferencia para cada uno de los elementos de decisión

Si X es... con respecto a Y	Entonces, la magnitud de la fuerza o preferencia es
Igualmente importante / favorito	1
Algo más importante / favorito	3
Fuertemente importante / favorito	5
Muy fuertemente importante / favorito	7
Absolutamente más importante / favorito	9

Tabla 5

Pesos de los atributos (escala ordinal)

Atributo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Suma	%	
D Desempleo total	P	P	P	=	P	P	P	P	P	P	P	10,5	17,4	
C Desarrollo humano	P	P	=		P	P	P	P	P	P	P	9,5	15,7	
A Corrupción	=	P			P	P	P	P	P	P	P	8,5	14,0	
J Protección de los inversores		P			P	P		P	P	=	P	6,5	10,7	
G Poder adquisitivo		=			P	=	=	P	P	P	P	6,5	10,7	
B Salario mínimo		=			P	P	=	=	P		P	5,5	9,1	
H Tasas de impuestos		=			P	P		=	=		=	4	6,6	
I Tasas de interés					P	P		=	=		=	3,5	5,8	
K Estabilidad de la tasa de cambio					P	=		=	=		=	3	5,0	
F Inflación (%)					P	=	=				=	2,5	4,1	
E Estabilidad del gobierno					=							0,5	0,8	
												Total	60,5	100

Tabla 7
Clasificación de las alternativas (todos los países latinoamericanos)

N.º	País	%	N.º	País	%	N.º	País	%
1	Chile	9,42	8	Perú	5,67	15	Bolivia	4,02
2	Argentina	7,75	9	Ecuador	5,53	16	Venezuela	3,89
3	Uruguay	6,69	10	Brasil	5,33	17	El Salvador	3,87
4	México	6,59	11	Paraguay	5,16	18	Nicaragua	3,17
5	Panamá	6,11	12	República Dominicana	4,32	19	Haití	2,49
6	Costa Rica	5,74	13	Honduras	4,29			
7	Colombia	5,73	14	Guatemala	4,24			

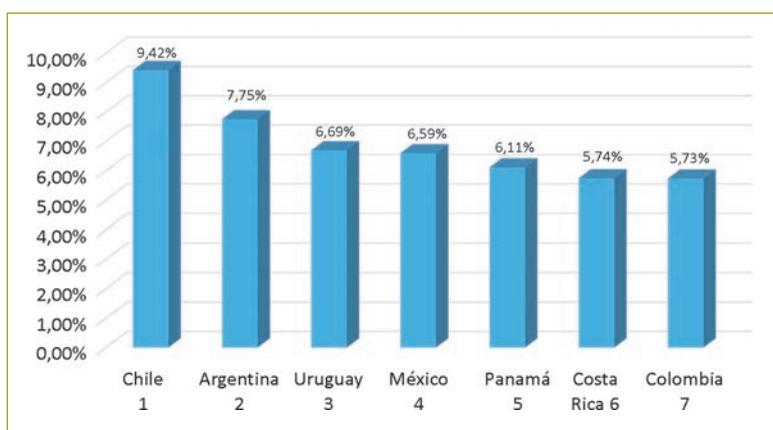


Figura 2. Clasificación de las alternativas (primeros siete países latinoamericanos).

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este estudio se aplicó el método AHP al problema de la selección del mejor país para invertir en América Latina. El modelo desarrollado es consistente con los datos recogidos y las preferencias evaluadas. La clasificación de alternativas se presenta como una herramienta de ayuda a los ejecutivos, empresarios e inversionistas, de modo que éstos puedan tomar una decisión más racional.

El análisis se realizó en un escenario de economía estática, donde se supone que los atributos o factores no cambian con el tiempo. En un entorno real es evidente que los parámetros del modelo cambiarán en forma constante con el tiempo o se verán afectados por otras decisiones y factores que no son esencialmente económicos. Un análisis estocástico de estos tipos de eventos puede ser interesante para una investigación futura.

En este estudio hay algunas limitaciones, como se mencionó anteriormente. En primer lugar, el número

de niveles del modelo puede ser más grande o amplio que los propuestos. Esto podría mejorar el análisis del problema. Otra mejora que se puede implementar en el modelo consiste en recopilar diversas opiniones de diferentes tipos de inversionistas, de modo que la percepción y preferencias provenientes de varias fuentes se puedan evaluar (por ejemplo, el idioma, la cultura y el país de origen pueden originar diferentes percepciones).

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por el apoyo dado a esta investigación.

REFERENCIAS

1. Alguacil, M., Cuadros, A. & Orts, V. (2011). Inward FDI and growth: The role of macroeconomic and institutional environment. *Journal of Policy Modeling*, vol. 33(3), pp. 481-496.
2. Beim, G. & Lévesque, M. (2006). Country Selection for New Business Venturing: A Multiple Criteria Decision Analysis. *Long Range Planning*, vol. 39(3), pp. 265-293.
3. Cabrera, L. & Giraldo, G.E. (2009). A Multiple Criteria Decision Analysis for the FDI in Latin-American Countries. *Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference. Institute of Industrial Engineers (IIE) Industrial Engineering Research Conference*. 30 May - 3 Jun 2009, USA, Miami, United States.
4. Canada, J.R., Sullivan, W., Kulonda, D. & White, J. (2005). *Capital Investment Analysis for engineering and management*, 3rd ed. Prentice-Hall, p. 545.
5. Comisión Económica para América Latina (Cepal) (2010). *La inversión extranjera directa en América Latina y el Caribe*, 2009. [En línea] http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/39419/inversion2009e_sintesis.pdf [Con acceso: septiembre 3, 2013].
6. Comisión Económica para América Latina (Cepal), 2013. *La inversión extranjera directa en América Latina y el Caribe*, 2012. Mayo de 2013. [En línea]: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/5/49845/LaInversionExtranjeraDirectaDoclinf2012.pdf> [Con acceso: septiembre 3, 2013].
7. Department for Communities and Local Government (DCLG) (2009). *Multi-criteria analysis manual for making government policy*. London, 28 January 2009. [En línea]: <https://www.gov.uk>

- uk/government/publications/multi-criteria-analysis-manual-for-making-government-policy [Con acceso: septiembre 3, 2013].
8. Doing Business (2010). *Investor's Protection*. [En línea] <http://espanol.doingbusiness.org/data/> [Con acceso: septiembre 3, 2013].
9. Frenkel, M., Funke, K., & Stadtmann, G. (2004). A panel analysis of bilateral FDI flows to emerging economies. *Economic Systems*, vol. 28(3), pp. 281-300.
10. Galán, J. I. & González-Benito, J. (2006). Distinctive determinant factors of Spanish foreign direct investment in Latin America. *Journal of World Business*, vol. 41(2), pp. 171-189.
11. Hortacsu, A., & Tektas, A. (2009). Modeling the Country Selection Decision in Retail Internationalization. *International Journal of Human and Social Sciences*, vol. 4(14), pp. 1021-1028.
12. Liu, L.B., Berger, P., Zeng, A. & Gerstenfeld, A. (2008). Applying the analytic hierarchy process to the offshore outsourcing location decision. *Supply Chain Management*, vol. 13(6), pp. 435-49.
13. Nijkamp, P. & Delft, A. V. (1977). Multi-Criteria Analysis and Regional Decision-Making. *Series: Studies in Applied Regional Science*, vol. 8, pp. 140.
14. *Portafolio.co* (2013). Colombia saltó al tercer puesto en inversión extranjera. Mayo 14 de 2013. [En línea] <http://www.portafolio.co/economia/ied-america-latina-y-colombia>. [Con acceso: septiembre 3, 2013].
15. Sophia, P. & Forero, J. (2010). *Tasas de inflación en América Latina 2010 (Inflation rates in Latin America, January 2011)*. [En línea] <http://www.javierforero.com/2011/01/tasas-de-inflacion-en-america-latina.html> [Con acceso: septiembre 3, 2013].
16. Saaty, T. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 15, pp. 234-281.
17. Saaty, T. (1980). *Multicriteria Decision Making - The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
18. *The Wall Street Journal* (2014). La inversión extranjera en América Latina puede caer en 2014. [En línea] <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424052702304363404579592603751916952?tesla=y&tesla=y> [Con acceso: agosto 6, 2014]
19. Transparency International (2010). *Corruption Perceptions Index*. [En línea] <http://www.transparency.org/cpi2010/results/> [Con acceso: septiembre 3, 2013].
20. Treviño, L. J. & Mixon Jr, F.G. (2004). Strategic factors affecting foreign direct investment decisions by multi-national enterprises in Latin America. *Journal of World Business*, vol. 39(3), pp. 233-243.
21. Treviño, L. J., Thomas, D.E. & Cullen, J. (2008). The three pillars of institutional theory and FDI in Latin America: An institutionalization process. *International Business Review*, vol. 17(1), pp. 118-133.
22. United Nations Conference on Trade and Development (Unctad) (2013). *World Investment Report 2013. Global Value Chains: Investment and trade for development*. New York and Geneva, 2013.
23. United Nations (2010). *Human Development Reports*. [En línea] <http://hdr.undp.org/es/informes/mundial/idh2010/capitulos/> [Con acceso: septiembre 3, 2013].
24. World Economic Forum (WEF) (2011). *Insight Report. The Global Competitiveness Report 2010–2011*. Full Data Edition. Geneva.
25. World Economic Forum (WEF) (2012). *Insight Report. The Global Competitiveness Report 2012–2013*. Full Data Edition. Geneva.
26. World Bank (2013). Factors: Minimum wage (PPP\$), Total unemployment (%), Inflation, Purchasing Power, Tax Rate and Interest Rat. [En línea] <http://datos.bancomundial.org/> [Con acceso: septiembre 3, 2013].
27. Yeyati, E., Panizza, U., & Stein, E. (2007). The cyclical nature of north–south FDI flows. *Journal of International Money and Finance*, vol. 26, pp. 104-130.

Development of pixel-based algorithms for face detection

DOMINIK MAKOWSKI¹ - SANDRA CANCINO SUÁREZ² - ENRIQUE ESTUPIÑÁN ESCALANTE³

1. Ingeniero y magíster en Telecomunicaciones y Electrónica.

2. Ingeniera electrónica y magíster en Ingeniería Eléctrica. Profesora del programa de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

3. Ingeniero electricista y magíster en Tecnologías de Comunicaciones. Profesor del programa de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

sandra.cancino@escuelaing.edu.co - enrique.estupinan@escuelaing.edu.co

Recibido: 25/11/2014 Aceptado: 05/12/2014

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Abstract

Many image and video processing applications need face detection as a common step to achieve other goals. For this reason, improvement in the performance of face segmentation is necessary in terms of quality and time consumption. This work shows some pixel-based algorithms with a geometrical and fuzzy logic approach. Results of a quantitative evaluation of the algorithms are described and analyzed. Finally, conclusions and future work is presented at the end of this paper.

Keywords: image processing, image segmentation, face detection

Resumen

Múltiples aplicaciones de procesamiento de imágenes y video requieren de la detección de rostros como una etapa en común para alcanzar otros objetivos. Por ésta razón, el mejoramiento de la segmentación facial es necesario en términos de calidad y tiempo de ejecución. Este trabajo muestra algunos algoritmos basados en la información de los píxeles con una aproximación geométrica y de lógica difusa. Se describen y analizan los resultados de una evaluación cuantitativa de los algoritmos. Finalmente, las conclusiones y el trabajo futuro son presentados al final de este artículo.

INTRODUCTION

Automatic face detection is a tool available in wide kind of applications. Anywhere a machine has to interact with external environment, using image/video types of human detection can be found i.e. access control, video surveillance, human tracking, gesture recognition, gesture based controller (Microsoft Kinect (Microsoft, 2015) – control system for Xbox 360 game console that uses body movement recognition for game interaction). Nowadays, technology allows implementing complex systems on embedded devices applied in robotics, avionics, vetronics, space and military areas (Cottet et al., 2002) such as:

- Thermite® Embedded Computer Systems - optimized for extended environment, vehicle-mounting, and video-intensive applications computing (Quantum3D-Thermite, 2013).
- Sentiris® PMC 4110 – graphic cards family designed for embedded visual computing providing 2D/3D high resolution, video capture, and display (Quantum3D-Sentiris, 2013).
- ExpeditionDI - man-wearable, field-ready, dismounted training, and mission rehearsal embedded system (Quantum3D-Expedition, 2013).
- Embedded systems for satellite telemetry and navigation (Aereoflex, 2007) (LynuxWorks-Galileo, 2015).
- Secure client virtualization for laptops, medical and data applications (LynuxWorks, 2015).

However, limited resources require fast and optimized algorithms that increase power-efficiency albeit the reduction of processor's cycles and inter-chip communication (Abbo et al., 2001) (Masselos et al., 2000) (Saponara et al., 2007). This is important especially when the embedded systems uses batteries. Such requirements fulfill color based face detection algorithms which can be used with parallel processing (Mi-Suen et al., 2001) possible in DSP and FPGA based embedded systems (Batlle et al., 2002) (McHugh et al., 1995). Entire pixels can be processed independently and particular result does not depend on those obtained at the same processing level (no memory operations needed) (Wu M., 2001). "Power consumption is reduced compared to a sequential column processor, because the control and address-decoding is shared by all processors according to the Single Instruction Multiple Data (SIMD) principle" (Batlle et al., 2002).

Pixel based algorithms are easy and fast to implement, but unfortunately there are some problems on detection connected to complex some problems related to background images with similar features as human face. Also, luminance variations have a significant influence on face detection algorithms ability, because of changes in color of pixels. Advancement in decreasing luminance and complex background influence on color based face detectors can gain their role on embedded systems.

Traditionally, face detection in image are classified into four categories (Singh, 2011):

- Knowledge-based method (top-down approach): this technique use knowledge about some global human facial features (eyes symmetry, uniform intensity of central part of face, mouth and nostrils position) to define some rules that can describe human face. It works well on environments with uncluttered background. Fixed rules entail problems with face detection in various poses. This approach is good especially for frontal face images.
- Template matching method: this technique searches for searches for the most likely image region, using correlation between input image/video frame and a template stored in database.
- Feature based method: this technique searches for some face features (shape, color, texture, edges) which stay constant even if a face has different poses.
- Machine learning method: this method uses training sets made of extracted features from image as an input for a learning process. It allows face recognition in different poses, but it needs a lot of face/non-face examples during initialization process.

Most of the approaches mentioned above use skin detection operation at the first step. This work uses some pixel-based methods for human skin detection, which need few computational resources for implementation. In order to enhance the algorithm's efficiency, in these methods, pixels are classified as skin/non-skin individually, opposite to region based methods, where the spatial arrangement of skin pixels is taken into account.

Furthermore, this work evaluates performance from four approaches for face detection based on simple pixels operations. Knowledge-based as well as features-based methods are used, in particular fuzzy logic technique. Implemented algorithms accept as input image/video frames coming from pixel based skin detectors.

Face detection abilities of different methods are compared under various light conditions, setups, and using miscellaneous pixel-based approaches to skin detection.

METHOD

The proposed technique implements skin detectors at the video input in order to create bubbles, which surrounds skin regions (possible face) and non-skin regions. Then, the algorithm is divided in two ways, one for skin area analysis and the other one for non-skin regions analysis. Information from skin regions is used to decide if it belongs to a face. On the other hand, non-skin information is used to verify if this region belongs to a face. The set of skin and non-skin information is used for the video output where the face is extracted from background. Figure 1 describes the steps of the proposed algorithm.

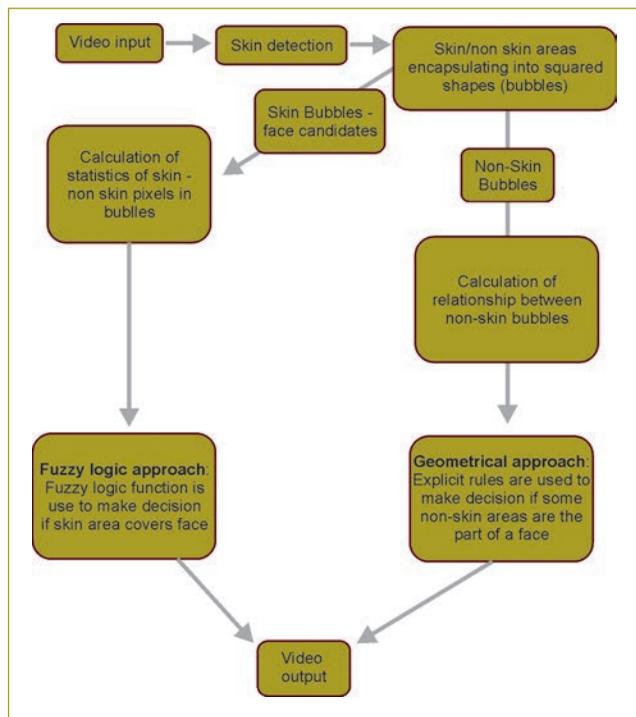


Figure 1. Diagram of the applied methodology

Face Detection

Face detection algorithms are usually based on three features:

- Centers of skin regions
- Centers of non-skin regions
- Edges

On the first and second items, any skin detection algorithm can divide the image into skin or non-skin areas, changing pixels color respectively to white and black. Afterwards, with a fixed vertical step Δ , algorithm selects the rows and goes thru from left to right. Every time there are changes of the type of region or area a new so called bubble is created and added to the proper skin/ non-skin list. First it expands in horizontal direction between two extreme points of the region. In the second step, the horizontal position of the central point is calculated, and then expands vertically updating the vertical central point position. Figure 2 presents a bubble expansion example. As it is shown, bubbles are enclosed in a square so that they can roughly cover the region of interest.

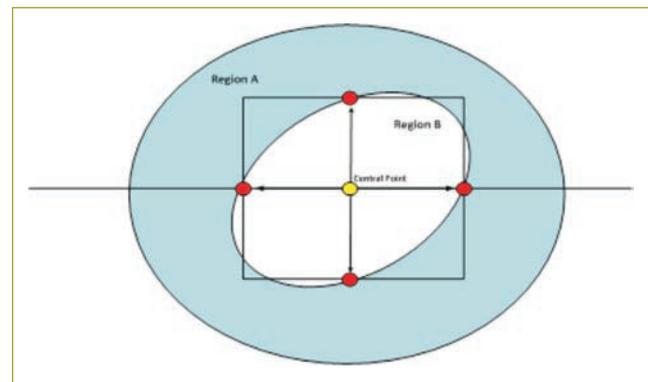


Figure 2. Skin Region covered roughly by a square-shaped area (bubble).

Figure 3 and Figure 4 show the process of face covering by skin bubbles with fixed horizontal step. This technique is introduced in our proposed Fuzzy Logic – Half/Full face approach face detection algorithms which will be described above.

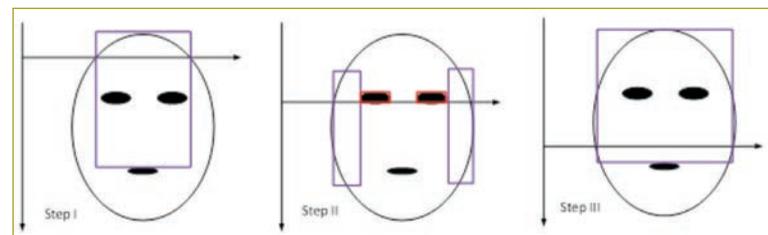


Figure 3. Skin region covered by bubbles (step by step).

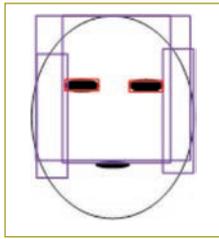


Figure 4. Final result of skin region covered by bubbles.

Fuzzy logic approach

For Fuzzy Logic approach it is better to work with the three kinds of skin bubbles shown in Figure 5, in the case of front face view.

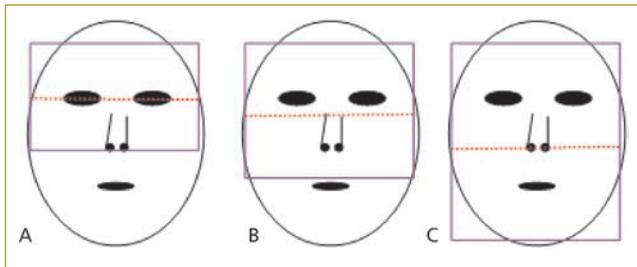


Figure 5. Three possible front face coverages that can be used for face detection. A) well marked nostrils B) well marked mouth C) face shape without well marked nostrils and mouth.

• Half Face Approach

The first two faces shown on Figure 5 (A and B), present skin bubbles created in the case of well-marked nostrils or mouth. Bubble expands from its center towards the bottom, meets and recognizes the mentioned features as the border of the skin region.

• Full Face Approach

In some cases of face pose at different light conditions, mouth and nostrils are not well marked. In this case, the skin bubble expansion algorithm detects and concludes the entire face, as it is shown in Figure 5C.

• Fuzzy logic function

Different fuzzy logic functions for face detection can be defined. The algorithm calculates some statistics, which are used by fuzzy logic function to calculate the probability that a face candidate is in fact a face. These statistics are the following:

- Non-skin to skin pixels ratio in the entire bubble region.
- Non-skin to skin pixels ratio in the upper and lower part of the bubble region.
- Width to height ratio of the bubble.
- Similarity between left and right part of the bubble calculated as number of non-skin pixels in the left part having their corresponding pixel in the right part, over entire number of pixels.

Geometrical approach

The same bubble expansion algorithm described above can be used to encapsulate non-skin areas (see Figure 6).

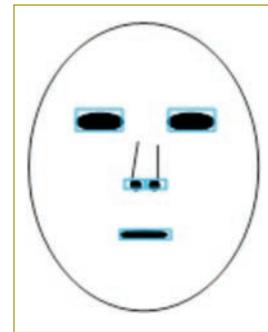


Figure 6. Non-skin face regions covered by square-shaped areas (ideal case).

Centers of eyes and non-skin bubble in area of nostrils or mouth (depends on face pose) create an equilateral triangle. This may be the answer about face position in video frame. However, complex image background can generate numerous non-skin bubbles, which would increase the required processing and memory resources. For this reason, eye candidates should be limited using some measurements. It can be done by the angle and distance between eye candidates as shown on Figure 7. Moreover, by the assumption that the current eye candidate is a left eye and the algorithm searches for a right one, the amount of processing is decreased twice (two pairs of the same eye candidates are not processed). Searching for matching mouth or nostrils center for every eye-pair candidate, would decrease the algorithm's speed due to non-skin bubble rummage list. That's the reason that there is a different solution proposed and shown on Figure 8. Also, a real time example is presented in Figure 9.

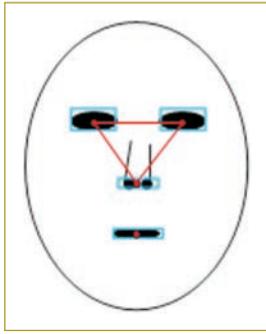


Figure 7. Detected face in the case of nostril located at a proper distance from eyes.

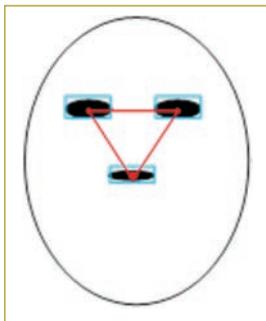


Figure 8. Detected face in the case of nostril located at proper distance from mouth.

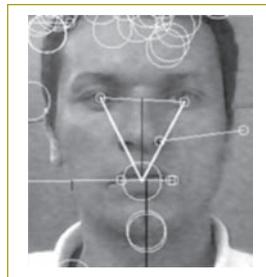


Figure 9. Real time face detection for the case presented on Figure 8.

For mouth and nostrils detection, the algorithm draws a line between the centers of eye candidates. In the next step it uses this line and its central point to check non-skin regions through:

- The vertical line starting from central point. In this case, the algorithm can find first the nostrils or the end of face as in Figure 10A.
- Perpendicular starting from the central point. In this case, the idea is to look for nostrils and mouth (see Figure 10B).

Distance between the found positions of mouth/nostrils is compared with eye candidate's distance in

order to check if they can draw something similar to an equilateral triangle. If this is the case, eyes, nostrils and mouth are classified as part of the face.

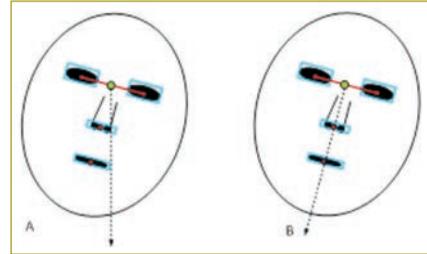


Figure 10. Two methods of nostrils and mouth detection a) using a vertical line from the line that connects the centers of the eyes B) using a perpendicular line.

Edge detection

An edge detection algorithm can be applied to the input image in order to simplify the search of face and eyes candidates at the algorithms described previously. The reason is that central points of bubbles can be easily located on a line instead of a region. When eyes candidates are found using for example the geometrical approach technique, a virtual ellipse is created which approximately encloses a human face (red ellipse shown in Figure 11). An ideal case assumes that input images contain edges lining up with the shape of the human face, which is approximately similar to the calculated ellipse. It indicates a number of bubbles placed close to ellipse. The algorithm calculates mean square error of shift between ellipse and nearest bubbles. Face or not-face decision is made through the application of a global threshold to the obtained result, marked by red color in Figure 12.

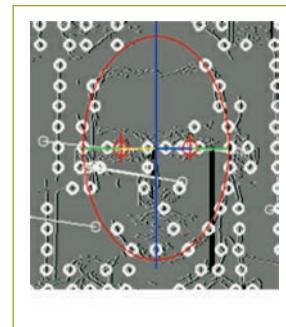


Figure 11. Face shape covered by ellipse created using distance between eyes.

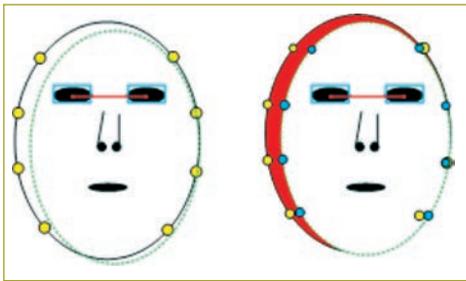


Figure 12. Error (marked by red) of shift between ellipses presented at figure 11 and shape lined by edges situated close to the ellipse.

Hybrid method for face detection

The algorithms presented above show different approaches for face detection, but they can merge in order to incorporate a bigger number of statistics and features. Algorithms working in parallel would significantly increase the probability of good results (see Figure 13).

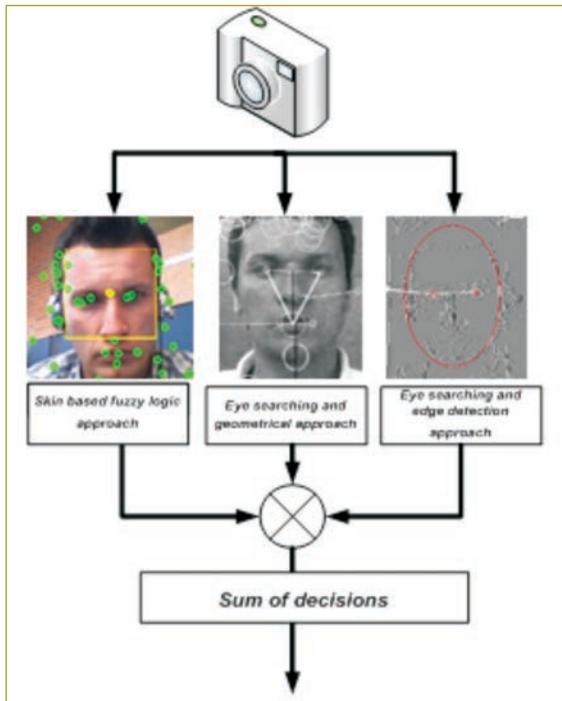


Figure 13. Hybrid face detection algorithm. Final decision is the sum of outputs from algorithms working in parallel.

Skin detection

Results from a skin detector are the input for face detection algorithm. There exist various approaches that allow recognizing skin areas in video. In order to

simplify calculation and speed up face detection, only pixel-based algorithms are employed.

Skin detection using RGB color space

RGB color space is an additive model that uses red, green and blue colors as the principal components. It is very often shown as a cube, where every color represents a different dimension. The characteristics of this color space are:

- It allows constructing fast skin classifiers.
- All three components are highly correlated (disadvantage during compression).
- Every component contains information about luminance. It means that luminance variation strongly affects the color value.
- RGB does not correspond precisely to human perception, which is not linear.

Explicit method for skin detection using RGB color space can be based on a simple formula proposed by some authors (Vladimir Vezhnevets, 2003).

Skin detection using YCbCr color space

YCbCr is a color model using luminance (Y) and two chrominance components (Cb, Cr) which describe colors. Components are not highly correlated, which simplifies compression process if needed: “With many more rods than cones, the human eye is more attuned to brightness and less to color differences. As luck (or really, design) would have it, the YCbCr color system allows us to pay more attention to Y, and less to Cb and Cr. As a result, by subsampling these chroma values, video standards and compression algorithms can achieve large savings in video bandwidth” (David J. Katz, 2006). YCbCr matches better to human visual perception than RGB format.

Some authors like Chai and Ngan (D. Chai, June 1999) propose specific formulas for using model YCbCr for skin detection.

RESULTS AND ANALYSIS

Hardware and Software

The following hardware was used for the experiments:

- Computer Sony Vaio VPCEB23FM
- Operating System Windows 7 Home edition 64 bit.
- Processor: Intel® Core™ i3 - 350M, 2.26GHz, L3 Cache: 3MB
- Memory: 4GB (2GBx2) DDR3/1066MHz
- Hard Drive: 320GB, 5400rpm, Serial ATA
- Display: 15.5", Resolution: 1366 x 768
- Graphics Processor: Intel® HD Graphics
- MOTION EYE webcam

With the following software:

- Microsoft Visual Studio 2008
- Image Processing Library OpenCV 2.3
- Matlab R2009b

Video samples

Four video samples were used to test the proposed algorithms. Table 1 shows the characteristics of the videos.

Table 1
Video samples used during tests

	Sample_1	Sample_2	Sample_3	Sample_4
Light Conditions [Lux]	875	455	617	339
Resolution [Width x Height]	320x240	320x240	320x240	320x240
Length [Sec]	43	65	47	18
Frame Rate [Frames/second]	30	30	30	30
Video Format	wmv	wmv	wmv	wmv

Algorithms settings used during tests

Fuzzy Logic:

Two functions are implemented. Functions have a form of a look-up table where the first columns represent input values and the last column represents one output value (see Table 2). Every function describes full and half face approach. Look-up tables have 800 rows (ranges of all of arguments are divided into 800 steps).

- Input arguments for first function:
 - Non-skin to skin pixels ratio in the entire bubble region.
 - Non-skin to skin pixels ratios in the upper and lower part of the bubble region.
 - Width to height ratio of the bubble.

Table 2

Look-up table used in the fuzzy logic function

Input Argument X	Input Argument Y	Input Argument Z	Output value V
1.0025	0.000625	0.000625	0.5433
1.005	0.00125	0.00125	0.54225
1.0075	0.001875	0.001875	0.54121
1.01	0.0025	0.0025	0.54017
1.0125	0.003125	0.003125	0.53913

- Input arguments for second function:
 - Non-skin to skin pixels ratio in the entire bubble region.
 - Non-skin to skin pixels ratios in the upper and lower part of the bubble region.
 - Width to height ratio of the bubble.
 - Similarity between left and right part of the bubble calculated as number of skin/non-skin pixels in the left part having their equivalent (pixel of the same type) in the right part, over entire number of pixels.
- Output value comes from the row where the differences between input values and corresponding values from columns are lower than 0.1.
- Output value has the range from 0 to 1, and face is detected when output fuzzy logic value is higher than 0.4.
Squares of area less than 4200 pixels are deleted and not taken into account.

Geometrical approach:

- Maximal eye distance was set to 90 pixels.
- Minimal eye distance was set to 10 pixels.
- Maximal vertical eye distance was set to 10 pixels.

Four face detection approaches are proposed and describe:

- Fuzzy logic approach
- Geometrical approach
- Edge detection approach
- Hybrid face detection approach

Results for Fuzzy logic approach and Geometrical approach are shown in the following charts. The best results were given by the geometrical face detection approach based on non-skin areas analysis. Both algorithms representing geometrical approach presented

the highest number of correct matches in function of time where face was visible (most of the frames in the video). The algorithm that used “perpendicular line” in face detection process shows the highest detection ratio regarding its ability to recognize leaning face poses (see Figure 14). Geometrical approach that used “vertical line” gave good results in the case of front face and not leaned pose. Geometrical approach showed better properties under various light conditions. Algorithms did not search for skin areas but analyzed areas that are not skin. Afterwards, when eye candidates (non-skin areas) were located, skin detection was employed to find a mouth. Algorithms looked for nose area which is almost always qualified as skin. To define position of the non-skin areas, their centers were calculated, a fact that decreases influence of light variation.

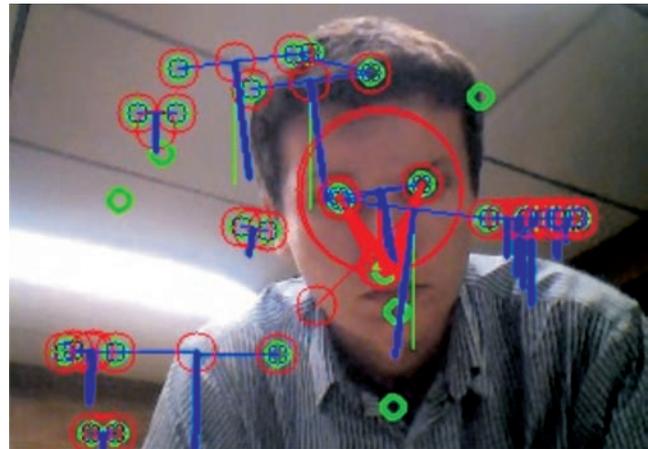


Figure 14. Geometrical Approach Using “Perpendicular line”.

Face detection algorithm		Sample_1.wmv			Duration [Frames]
		Detected faces		Detection Error Rate	
		Match	False		
Fuzzy Logic	Full/Half Face Detection Approach	0	0	0%	1290
	Full/Half Face approach with additional similarity check	3	7	70%	
Geometrical Approach: “perpendicular line”		297	132	30%	
Geometrical Approach: “vertical line”		423	421	50%	

Face detection algorithm		Sample_2.wmv			Duration [Frames]
		Detected faces		Detection Error Rate	
		Match	False		
Fuzzy Logic	Full/Half Face Detection Approach	11	3	21%	1920
	Half + Full Face Approach with additional similarity check	20	2	10%	
Geometrical Approach: “perpendicular line”		320	115	26%	
Geometrical Approach: “vertical line”		211	98	32%	

Face detection algorithm		Sample_3.wmv			Duration [Frames]
		Detected faces		Detection Error Rate	
		Match	False		
Fuzzy Logic	Full Face Approach	8	5	38%	1410
	Half Face Approach				
	Half + Full Face Approach with additional similarity check	15	6	27%	
Geometrical Approach: “perpendicular line”		230	103	31%	
Geometrical Approach: “vertical line”		146	112	43%	

Face detection algorithm		Sample_4.wmv			Duration [Frames]
		Detected faces		Detection Error Rate	
		Match	False		
Fuzzy Logic	Full Face Approach	3	3	50%	540
	Half Face Approach				
	Half + Full Face Approach with additional similarity check	4	3	43%	
Geometrical Approach: “perpendicular line”		47	10	18%	
Geometrical Approach: “vertical line”		16	12	43%	

Contrary to geometrical approach, algorithms based on fuzzy logic presented a smaller number of detected faces during the whole sequence. Fuzzy logic function should be fed by statistics calculated over continuous face skin area. Light conditions variations divided continuous skin areas into smaller scraps, which were perceived by algorithms as if they were face candidates. This situation decreases detection ratio. Fuzzy logic functions unexpectedly gave wrong results even when part of the face was enclosed as a “skin bubble”. It has to be noticed that additional symmetry measurement slightly improved results.

It is useful to know that frame rate of video samples is 30 frames per second. It means that for example in the case of video sample_2, where geometrical ap-

proach - “perpendicular line” is tested, face was found approximately 5 times per second. This fact can change the meaning of the obtained results.

CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

In this work, four approaches to pixel based face detection are described. Video processing system is built using simple web camera as video source. Video is captured using popular library OpenCV and video processing software is created using Microsoft Visual Studio C++. Such approach is useful for implementing those algorithms in different type of hardware such as mobile devices.

Fuzzy logic and geometrical approaches are implemented in software and tested. Results show that geometrical approach gives significantly better results than fuzzy logic approach.

Results clearly show a need of research on pixel based skin detection methods, which can be used under various light conditions in order to improve skin/non-skin areas detection, so that it is possible to obtain stable face features to use as inputs for fuzzy logic based algorithms. RGB pixel based skin detection can be used in the case of definition of some stable face features or in parallel with other algorithm less sensible for light conditions. Fuzzy logic algorithm should work using several functions that can describe different face poses.

Geometrical approach should include some additional features to discard non-face candidates.

Future work should include implementation of edge detection approach to face detection. The algorithm is not tested, but it is believed that this implementation can provide results more independent from light conditions.

A hybrid approach can also improve results due to the implementation of the best algorithms working in parallel as it was described in section 2.1.4. Proper selection of algorithms could improve their weak points.

REFERENCES

- [1] Microsoft, Microsoft Xbox (2015), Kinect for Xbox One Retrieved from :<http://www.xbox.com/en-US/xbox-one/accessories/kinect-for-xbox-one>.
- [2] Francis Cottet, Joëlle Delacroix, Claude Kaiser, Zoubir Mammeri, *Scheduling in Real-Time Systems*, Wiley, December 2002.
- [3] Quantum3D (2014). Thermite. Retrieved from :http://www.quantum3d.com/solutions/embedded/thermite/thermite_tactical.html.
- [4] Quantum3D (2014). Sentiris Retrieved from: http://www.quantum3d.com/solutions/embedded/sentiris_pmc_4110.html.
- [5] Quantum3D (2014). Expedition Retrieved from: http://www.quantum3d.com/solutions/immersive/expedition_di.html.
- [6] D. S.-. Areoflex, (2007). Next –Generation Embedded Processors Empower Satellite Telemetry And Command Systems, Colorado Springs. Retrieved from: <http://ams.aeroflex.com/pagesproduct/articles/WhitePaperEmbeddedProcessors.pdf>.
- [7] LynuxWorks, (2015). Galileo. Retrieved from: <http://www.lynx.com/galileo-satellite-navigation-system/>.
- [8] Lynuxworks, (2015) "Desktop Virtualization and Secure Client Virtualization Based on Military-Grade Technology" Retrieved from: <http://www.lynuxworks.com/virtualization/secure-client-virtualization.php>.
- [9] A. Abbo, R. Kleihorst, L. Sevat, P. Wielage, R. van Veen, M. Op de Beeck and A. van der Avoird, "A low-power parallel processor IC for digital video cameras," in *Solid-State Circuits Conference, 2001. ESSCIRC 2001. Proceedings of the 27th European*, Villach, Austria , 2001.
- [10] K. K. Y. A. I. S. T. Masselos, "Development of a power efficient image coding algorithm based on integer wavelet transform," in *Electronics, Circuits and Systems*, 2000. ICECS 2000. The 7th IEEE International Conference on, Jounieh , 2000.
- [11] L. F. S. M. a. G. R. Sergio Saponara, "Algorithmic and architectural design for real-time and power-efficient Retinex image/video processing," *Journal of Real-Time Image Processing*, Vols. Volume 1, Number 4, 2007.
- [12] R. K. A. A. E. C.-S. Mi-Suen Lee, "REAL TIME SKIN-TONE DETECTION WITH A SINGLE-CHIP DIGITAL CAMERA," in *Image Processing, 2001. Proceedings. 2001 International Conference on*, Thessaloniki , Greece , 2001.
- [13] J. M. P. R. a. J. A. J. Battle, "A New FPGA/DSP-Based Parallel Architecture for Real-Time Image Processing," *Real-Time Imaging*, vol. 8, pp. 345-356, 2002.
- [14] R. McHugh, S. Shaw and N. Taylor, "Pixel based sonar imaging," in *Recent Developments in Radar and Sonar Imaging Systems: What Next?, IEE Colloquium on*, London , UK, 1995.
- [15] M. Wu, *Pixel Operations and Spatial Filtering for Image Enhancement*, Maryland , 2001.
- [16] R. K. Singh, A. Gulati, A. Sharma and H. Vazirani, "An Improvement Study Report of Face Detection Techniques using Adaboost and SVM," *International Journal of Computer Science and Information Security*, vol. 9, no. 7, pp. 104-108, 2011.
- [17] T. M. Mahmoud, "A New Fast Skin Color Detection Technique," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2008.
- [18] V. S. A. Vladimir Vezhnevets, "A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques," in *GraphiCon 2003*, Moscow, Russia, 2003.
- [19] R. G. David J. Katz, *Embedded Media Processing*, 2006.
- [20] K. N. D. Chai, "Face Segmentation Using Skin-Color Map In Videophone Applications," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions*, vol. VOL. 9, no. NO. 4, June 1999.
- [21] S. Albers, "Energy-efficient algorithms," *Communications of the ACM*, pp. 86-96 , 5 5 2010.

Consideraciones tecnológicas como resultado de la construcción de la arquitectura empresarial para una institución de educación superior

Technological considerations as a result of building the enterprise architecture for a Higher Education Institution

CLAUDIA PATRICIA SANTIAGO CELY¹ - OSWALDO CASTILLO NAVETTY²

1. Ingeniera de sistemas y magister en Gestión de Información. Profesora del programa de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Miembro del grupo de investigación Ciencia, Tecnología y Gestión Informática (CTG-Informática).

2. Ingeniero de sistemas y doctor en Redes, Conocimientos y Organizaciones. Profesor del programa de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Miembro del grupo de investigación Ciencia, Tecnología y Gestión Informática (CTG-Informática).

claudia.santiago@escuelaing.edu.co – oswaldo.castillo@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/10/2014 Aceptado: 25/10/2014

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

Las tecnologías de la información y la telecomunicación (TIC) permean todos los ámbitos de cualquier organización y por ello es clave aprovechar al máximo su uso. Basándose en las necesidades y modo de operación de una institución de educación superior, en este artículo se presenta una propuesta de una arquitectura tecnológica a partir de las recomendaciones del *framework* para construcción de arquitecturas empresariales Togaf. Dicha propuesta puede alinearse con las necesidades de la institución y su visión de futuro, teniendo en cuenta el marco regulatorio que la rige y las tendencias mundiales sobre la universidad del siglo XXI. La propuesta presentada puede ayudar a hacer inversiones en TI más acertadas y convertir dicha inversión en un factor apalancador del desarrollo de la institución que la adopte.

Palabras claves: arquitectura empresarial, tecnología en IES, gobierno de IES, estrategia de TI.

Abstract

Information Technology and Telecommunications (IT) permeate every aspect of any organization. Hence, it is key to benefit as much as possible from their use. Based on the needs and the mode of operation of a university, this paper proposes a technology architecture based on the Togaf framework for enterprise architectures. Such proposal can be aligned with the particular needs of an institution and with its vision of the future, while taking into account legal regulations and global trends for the twenty-first century university. The proposal presented in this paper can help in improving the execution of IT investment and transforming such investment in an important leverage factor of the institution's development.

Keywords: enterprise architecture, technology to university, university government, IT strategy.

INTRODUCCIÓN

Las instituciones de educación superior (IES) cuentan con gran cantidad de datos, múltiples sistemas de información y una variada lista de recursos tecnológicos, adquiridos o desarrollados en diferentes momentos para soportar su operación. Pero las preguntas que surgen y que con mucha frecuencia inquietan a la dirección de las universidades son las siguientes: ¿cómo garantizar que la inversión en tecnología responda acertadamente a sus necesidades presentes y futuras? ¿Cómo lograr que haya una integración real entre los sistemas y los datos de maneja ágil y segura? ¿Cómo dimensionar y ajustar la infraestructura requerida para prestar el servicio?

Sean IES que ofrecen educación presencial o educación virtual, o una combinación de ambas, van a requerir el uso de diversos sistemas de información para administrar datos de diferente índole. Es importante analizar la variedad de soluciones de TI como apalancador de los procesos educativos, pero también como soporte del andamiaje administrativo que hay en cualquiera de los dos esquemas. Es clave contar con sistemas de información, datos e infraestructura correctamente integrada a las necesidades y a los planes estratégicos de las instituciones de educación superior, perfectamente orquestadas y que se conviertan en apalancadores de sus procesos, tanto para mantener la eficiencia en su operación como para satisfacer las necesidades de su comunidad.

En este artículo se presenta una propuesta, apoyada en el concepto de arquitecturas empresariales, para armonizar la estructura de información de una IES y su infraestructura tecnológica. Para el desarrollo de esta propuesta se parte de los resultados de la tesis de maestría titulada “Propuesta de una arquitectura empresarial para una institución de educación superior (IES)” (Santiago, 2013).

Para el desarrollo de dicha propuesta, primero se expone el problema que motiva este trabajo: algunos retos y oportunidades que tienen las IES hacia el futuro en relación con el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC). A continuación se presentan los conceptos generales de arquitectura empresarial y sus componentes principales. Posteriormente, se desarrolla la propuesta de arquitectura empresarial para una IES, haciendo énfasis en la arquitectura tecnológica, y por último se saca una conclusión del tema.

LA UNIVERSIDAD Y LAS TIC: RETOS Y OPORTUNIDADES PARA LAS IES

Las IES, de la misma forma que cualquier otro tipo de empresa u organización, se apoyan en numerosos sistemas de información para su operación; de igual manera, tienen una serie de datos de diferente índole que le permiten llevar a cabo su labor y muchos de ellos se convierten en parte de sus activos. Además, cuenta con una serie de recursos tecnológicos en los que se encuentran alojados las aplicaciones y los datos o que facilitan su tránsito entre éstos. Dicho conjunto de datos, aplicaciones e infraestructura se convierten en herramientas que se pueden aprovechar en sus procesos educativos o administrativos, y como apoyo en la toma de decisiones de tipo operativo y directivo dentro de la institución.

Lastimosamente, también es frecuente encontrar que todo ese andamiaje tecnológico, de infraestructura, aplicaciones e información no está integrado, que se tienen unos recursos sobresaturados y otros subutilizados, o sistemas que no se comunican entre ellos y que requieren gran cantidad de esfuerzos y procesos de conversión para lograr interacción entre ellos, o datos que no pueden reutilizarse entre sistemas, datos repetidos, diferente información para los mismos “registros” y, algunas veces, datos completamente inconsistentes.

Como se menciona en Santiago (2014), desde el área de TI existen múltiples ofertas de *software* y *hardware* que prometen apoyar los procesos de las instituciones, con un abanico de posibilidades de inversión en TI muy amplio. Es allí donde surge la preocupación de seleccionar las tecnologías adecuadas, que respondan a las necesidades de la institución y le permiten ser más competitiva. Las instituciones quieren contar con soluciones a largo plazo, con inversiones que potencien sus capacidades, fáciles de usar y que su crecimiento se pueda modularizar. Lograr todo esto no siempre es fácil, es muy común encontrar decisiones en TI que no responden al negocio sino a TI en sí mismo, aplicaciones que suplen parcialmente las necesidades de la institución, soluciones que presentan bajos niveles de comunicación con el resto de sistemas de la institución y, muchas veces, soluciones poco amigables con el usuario final.

Por otro lado, es claro —como lo mencionan muchos autores— que las IES tienen grandes retos y oportunidades y las TI pueden ser un gran apoyo a la hora de

afrontarlos, por lo que pueden convertirse en pieza clave o indispensable para responder a ellos. A continuación se presentan algunos aspectos que hay que tomar en cuenta:

- “La producción y la divulgación del conocimiento –la investigación y la enseñanza– ya no son actividades autónomas, que se llevan a cabo en instituciones relativamente aisladas. Ahora implican una interacción con otros productores de conocimiento. En estas circunstancias, las vinculaciones entrañarán más y más el aprovechamiento del potencial de las nuevas tecnologías de información y comunicación” (Gibbons, 1998).
- Según Gibbons (1998), Unesco (1998) y Anuiés (1998), uno de los pilares de la educación superior del nuevo siglo es el conocimiento; la producción, transmisión y aplicación de conocimiento y la gestión de éste. Es clave crear sistemas de gestión de conocimiento, redes de investigación y mecanismos de “conectividad” eficaces y efectivos entre ellos, que les permitan a las universidades y a otros organismos “la asociación basada en el interés común, el respeto mutuo y la credibilidad”.
- El máximo aprovechamiento de las nuevas tecnologías de información y comunicaciones como facilitadoras del cumplimiento de las funciones de las instituciones de educación superior, desde la formación, pasando por la investigación y hasta la gestión de éstas. La Unesco (Unesco, 1998, art. 12) presenta una lista de posibles acciones que se deben realizar para aprovechar las TIC, las cuales se pueden resumir en construcción de redes para el intercambio de experiencias, construcción de nuevos entornos pedagógicos, aprovechamiento de las TIC para corregir las desigualdades de las personas, adaptación de las TIC al entorno local, fortalecimiento de la sociedad del conocimiento y transformación de las IES apoyadas en TIC.
- La virtualidad como herramienta de apoyo en la educación (virtualidad del aula, de la biblioteca, de los laboratorios, etc.), que permite traspasar las fronteras físicas. Las herramientas de comunicaciones (correo electrónico, blogs, etc.), que facilitan la interacción con estudiantes y profesores/investigadores de cualquier lugar del planeta. De igual manera, se debe buscar la generación de contenidos digitales, de objetos de conocimiento que enriquezcan el proceso de formación.
- En la investigación denominada “Contribution of Integrated Management Systems to University Management: Case Study of the Federal University of Rio Grande do Norte” (Oliveira, Veloso Cald, Barbosa Pereira Queiroz, Viegas Queiroz & Hékis, 2011), se señala que las universidades necesitan una adecuada estructura organizativa y una gestión competente. Las estrategias se deben dirigir a la calidad del servicio y la conciencia de la importancia de los sistemas de información en la difusión y socialización del conocimiento. Los sistemas de información cumplen un papel potencialmente importante en la administración universitaria, ya que estas instituciones, al igual que todas las organizaciones, son creadas para satisfacer las necesidades del cliente. Éstas deben contar con sistemas y datos integrados que apoyen los procesos de toma de decisión. La universidad debe hacer una buena gestión de sus procesos de TI para satisfacer a sus usuarios (estudiantes y sociedad), en relación con sus ámbitos académicos y de investigación, principalmente. En la implantación de sistemas de información integrados que se hizo a la Federal University of Rio Grande, se lograron mejorar los procesos de la universidad al involucrar el uso de TI en sus procesos académicos y administrativos.
- Los cambios que están ocurriendo en todo el mundo no sólo están afectando a las empresas y al gobierno, también están llegando a la universidad: aumento de la competencia, mayor exigencia por parte de los usuarios del servicio, incremento en el empleo de TI en la vida diaria, mayor distribución de la información en todo el mundo y a todo nivel, nuevas metodologías, entre otras. El sistema de educación superior se ha transformado en un sistema complejo, que está abierto a las influencias externas (nacional e internacional); además, se ha convertido en dinámico, requiere control, datos actuales e información (Shoham & Perry, 2008).
- Se debe contar con estándares de calidad que permitan a las IES mostrar excelencia en su funcionamiento y en la oferta educativa que proponen. Como presenta (Sangrà, 2001), un indicador de calidad está relacionado con criterios en cuanto a la organización y a la tecnología (debería considerarse si la organización y la tecnología están al servicio de los estudiantes y de la consecución de los objetivos de

la universidad y si se dispone de una plataforma tecnológica estable que garantice la comunicación entre todos los miembros de la comunidad universitaria).

ARQUITECTURA EMPRESARIAL

Definición

La arquitectura empresarial (AE) es una organización lógica de los procesos del negocio y la infraestructura de TI, que refleja la integración y estandarización de los requerimientos del modelo operativo de la empresa (Ross, Weill & Robertson, 2006).

Basado en Ross, Weill & Robertson (2006), la AE provee una visión a largo plazo de los procesos, sistemas y tecnologías de la organización, de tal manera que los proyectos que se realicen no sólo respondan a las necesidades inmediatas. En la medida en que se vaya perfeccionando la AE en la organización, se va moviendo dentro de un modelo de madurez desde procesos aislados, pasando por estandarización de tecnología y optimización del núcleo del negocio en materia de procesos y datos, hasta llegar a una arquitectura que permita extender la oferta de la organización de manera ágil aprovechando la infraestructura de TI con la que cuenta.

Con la AE, la empresa puede modelarse y representar su estructura de TI, de tal manera que esta estructura se desarrolle a partir de las necesidades y perspectivas planteadas desde una visión de negocio, logrando así que todos los esfuerzos e inversiones que se hagan en tecnología se vean realmente como una inversión y no como un gasto. Se trata de llevar la TI y toda su infraestructura a un nuevo nivel, donde la vean como generadora de valor para la organización (figura 1). Como se menciona en Oramas (2011), una arquitectura empresarial es “un modelo coherente, unificador e integrador de decisiones que determina y revela el propósito de la organización en materia de objetivos a largo plazo, programas de acción y prioridades en la asignación de recursos, tratando de lograr una ventaja competitiva sostenible a largo plazo, respondiendo adecuadamente a las oportunidades y amenazas surgidas en el medio externo de la empresa, y teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades de la organización”.

La AE está compuesta por cuatro dominios, así: arquitectura de negocio, arquitectura de datos, arquitectura de *software* o aplicaciones y arquitectura de tecnología o tecnológica.



Figura 1. Dominios de una arquitectura empresarial.

Metodología para la construcción de la arquitectura empresarial

Con el objetivo de apoyar la construcción de la AE se han desarrollado diferentes *frameworks* que se pueden usar como referencia y apoyo. Estos marcos de referencia “determinan en qué términos se define y documenta dicha arquitectura” (Arango Serna, Ordóñez Salazar & Zapata Cortés, 2010), al igual que dan una guía en el desarrollo de la AE particular de cada organización, los cuales se centran en los artefactos arquitectónicos que se deberán generar (Harrell & Sage, 2010).

Entre los principales marcos de referencia están Zachman, Togaf, eTOM, FEAF, DoDAF y MAPPMR. Todos estos *frameworks* cuentan con un alto nivel de reconocimiento por parte de diferentes comunidades mundiales. Para el desarrollo de esta propuesta se seleccionó Togaf, ya que es un *framework* libre y con gran cantidad de documentación de apoyo, así como plantillas y ejemplos. Adicionalmente, cuenta con una metodología que facilita su construcción y validación en la organización.

PROPUESTA DE ARQUITECTURA TECNOLÓGICA

Arquitecturas de negocio, datos y aplicación

Como se indicó anteriormente, para culminar con la construcción de una arquitectura tecnológica se debe partir del conocimiento del negocio y su entorno, con lo cual se construye la arquitectura de negocio; a

continuación se desarrolla la arquitectura de datos que responda a las definiciones de negocio plasmadas en la arquitectura anterior; posteriormente se determinan las necesidades de aplicaciones de *software*, la interoperabilidad entre ellas y la manera como se relacionarán éstas con los datos y los procesos de la organización, lo que dará lugar a la arquitectura de aplicación. Todos estos insumos serán la base para la posterior construcción de la arquitectura tecnológica. A renglón seguido se presentan las tres primeras arquitecturas de una institución de educación superior y en la siguiente sección se profundizará en la última de ellas. Todas estas arquitecturas se fundamentan en el trabajo de grado realizado para obtener la maestría en Gestión de Información (Santiago, 2013).

Como ya se mencionó, la primera arquitectura que se construye es la arquitectura de negocio. Para esto se parte del entorno de las instituciones de educación superior (socios de negocio, clientes, competencia, proveedores, etc.), la reglamentación que las rige (legislación de educación, reglamentación fiscal, etc.) y los procesos misionales (formación, construcción y desarrollo del conocimiento e interacción con el entorno) y de apoyo (direccionamiento estratégico, bienestar institucional, gestión y calidad) que las conforman. También se toman en cuenta la infraestructura física y tecnológica de la institución, su recurso humano y sus planes estratégicos. Todo esto guía la definición de los nueve elementos de un modelo de negocios que se consideran en el lienzo presentado por Alex Osterwalder en su *Business Model Generation*¹. En este lienzo se plasman los socios claves, las actividades principales que hay que desarrollar (que corresponderán a los procesos misionales), los recursos con que se cuenta, su mercado objetivo, sus canales de comunicación con el entorno, las estrategias de seguimiento a sus usuarios y su propuesta de valor, que estará relacionada con los programas académicos que ofrece la institución, las modalidades que utiliza para llevar a cabo dichos programas, metodologías, convenios y alianzas, reconocimiento y compromiso con la sociedad. Finalmente, en este lienzo se modelan sus fuentes de ingresos, las cuales guardan una estrecha relación con sus procesos misionales y su estructura de costos.

Con la arquitectura de negocio ya definida se desarrolla la arquitectura de datos, la cual está compuesta, en el caso de una IES, por trece conceptos: personas, relaciones con otras entidades, biblioteca, planta física, infraestructura tecnológica, eventos internos y externos, proyectos, información financiera y contable, planeación, suministros y procesos administrativos, procesos académicos, investigación y unidades administrativas. Alrededor de estos conceptos se definen entidades y relaciones que los representen y que se puedan modelar en una base de datos, a la vez que se estructuran las políticas de seguridad y privacidad que sean del caso para cada uno de ellos. En el caso particular de las IES, se propone la estructuración de tres bases de datos: una para los datos críticos relacionados con el registro académico de los estudiantes; otra que hará las funciones de la bodega de datos, que se utilizará en procesos de inteligencia de negocios (por ejemplo, para analizar tendencias, deserción, resultados de evaluación de cursos, empleabilidad de sus graduados, entre otros), y la base de datos administrativa, que contendrá los demás datos que genere o administre la institución.

A partir de lo anterior, se procede a diseñar la arquitectura de aplicaciones, la cual determina la manera como los procesos de negocios y los datos que éstos generan o usan sean soportados con el apoyo de aplicaciones y cómo será la interrelación entre dichas aplicaciones, de tal modo que respondan a las necesidades de la IES. Se cuenta con sistemas de soporte financiero, registro académico, gestión de clientes, soporte a procesos académicos y administrativos, pagos, gestión de conocimiento, investigación, repositorios de objetos de aprendizaje, soporte y seguimiento de cursos, conferencias, comunicaciones, mensajería y colaboración, gestión de proyectos, gestión de recursos (físicos, humanos, bibliográficos, tecnológicos, etc), todos apoyados por sistemas de autenticación, autorización, privacidad y control (tales como firmas digitales, estampillas de tiempo, notificación de incidentes, biometría, sistemas de administración de eventos, gestión de usuarios, cifrado de datos y comercio electrónico seguro). Estos sistemas deberán permitir el acceso a los usuarios desde cualquier lugar empleando interfaces tipo web y móviles. Basado en todo lo anterior, se propone una arquitectura de aplicación compuesta por sistemas de información diseñados con los parámetros de la arquitectura orientada a servicios (SOA), de tal manera que

1. <http://businessmodelgeneration.com/canvas/bmc>.

la comunicación entre las aplicaciones esté basada en la publicación de *web services* y la utilización de buses de servicios empresariales.

Arquitectura tecnológica

Ya construidas las arquitecturas de negocios, datos y aplicación, se propone la arquitectura tecnológica, compuesta por contenedores de almacenamiento, servidores y clientes interconectados por redes de datos y conexión hacia redes públicas (figura 2).

El primer contenedor, denominado *almacenamiento*, el cual hace referencia a la infraestructura necesaria para soportar la arquitectura de datos, es el sistema de almacenamiento de la institución; en éste se debe contar con equipos especializados en procesos de almacenamiento de datos y sistemas de respaldo de la información. Tecnologías especializadas en almacenamiento, tipo SAN (*Storage Area Network*) y NAS (*Network Area Storage*) se deben tener en cuenta. Es de aclarar que esta infraestructura se podrá ubicar en centros de datos dentro de la misma institución o se pueden subcontratar

por intermedio de terceros o mediante estructuras de computación en la nube (pública o privada).

El segundo contenedor presente en el diagrama es el denominado *servidores*, que hace referencia a la infraestructura necesaria para soportar la arquitectura de aplicación. En este contenedor se debe contar con servidores para las aplicaciones definidas en la arquitectura, tales como sistema de registro académico, sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP), sistema de gestión de la investigación y gestor académico. Adicionalmente, debe incluirse la plataforma necesaria para la publicación web, los sistemas de comunicación convergentes y la infraestructura de seguridad informática requerida por la IES. Al igual que el contenedor de almacenamiento, esta infraestructura se podrá ubicar en centros de datos dentro de la misma institución o se pueden subcontratar a través de ISP o mediante estructuras de computación en la nube (pública o privada).

El tercer contenedor del diagrama se denomina *clientes*, el cual representa las estaciones de usuario final. Allí se incluyen los tipos de estaciones con los que se podría llegar a contar en la institución, desde compu-

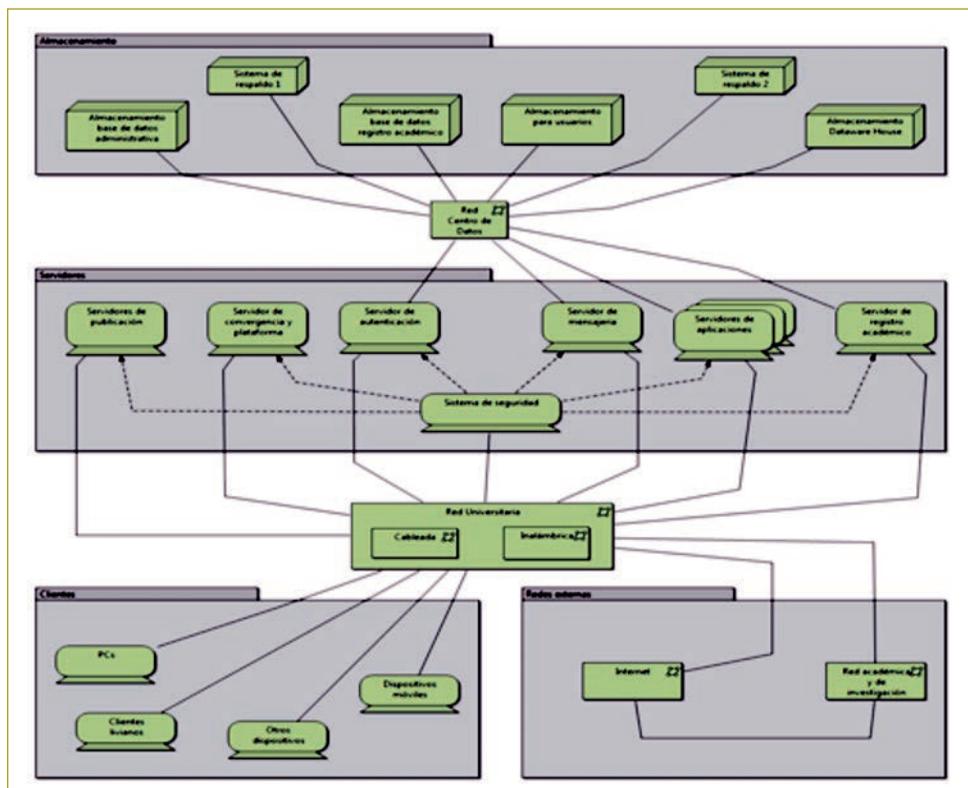


Figura 2. Arquitectura tecnológica.

tadores de escritorio, pasando por equipos móviles hasta otros dispositivos especializados, como cámaras, videoproyectores, tableros inteligentes y televisores, que accederán a los servicios de TI de la institución y se podrán ubicar en diferentes lugares dentro y fuera de la IES. Finalmente, el cuarto contenedor hace referencia a las *redes externas* a las cuales la IES desea conectarse, como por ejemplo internet, internet2 y redes privadas para interconexión entre sedes.

En particular, los componentes de interconexión de elementos, es decir, las redes de datos de la IES, se describen así:

- **Red centro de cómputo.** Hace referencia a la red que permite la interconexión entre los servidores y los equipos de almacenamiento. Esta red será de alta velocidad y muy confiable, por lo que, generalmente, este tipo de redes se diseña en fibra óptica.
- **Red universitaria.** Se refiere a la red de computadores tendida por toda la institución, la cual permitirá que los usuarios utilicen los servicios informáticos de la IES. Esta red está constituida normalmente por enlaces cableados a través de cableado estructurado y enlaces inalámbricos, como por ejemplo wifi. Su diseño debe permitir alta disponibilidad, confiabilidad y eficiencia.
- **Red internet.** Se trata de la conexión con que la IES debe contar para permitir la comunicación de la institución con el mundo internet. Está compuesta por enlaces alquilados a proveedores de servicios de internet (ISP), con una capacidad que se deberá determinar según la demanda de la misma institución.
- **Red académica y de investigación.** Finalmente, esta red permite a la IES conectarse con otras sedes, entidades de educación, centros de investigación y otras instituciones, con el ánimo de realizar proyectos, intercambiar experiencias y mejorar sus funciones y servicios.

Para lograr la implementación adecuada de esta arquitectura, a continuación se presentan una serie de recomendaciones tecnológicas² que se deben considerar en el momento de realizar un proceso de implantación de infraestructura tecnológica. Para mayor claridad, estas recomendaciones se han dividido en seis grupos, así:

2. Algunas de las recomendaciones hechas están basadas en el libro *Cisco Data Center Infrastructure 2.5 Design Guide* (November 2, 2011). Cisco Systems Inc.

- **Mensajería y colaboración.** Con estos servicios, que están relacionados con la comunicación en el interior y exterior de la IES, se busca brindar las herramientas y el soporte tecnológico más adecuados, de modo que faciliten la interacción de la comunidad. A este respecto se presentan las siguientes recomendaciones:

- Utilizar voz sobre IP (VoIP) en la IES, de tal manera que se pueda llevar la red de la institución hacia redes de datos convergentes.
- Contar con sistemas de mensajería unificada que permitan integrar los servicios de voz, fax, correo de voz, etc., en una sola plataforma. Adicionalmente se debería incluir un sistema de informadores digitales de gestión centralizada dentro de la IES para asegurar la transmisión ágil de avisos y comunicaciones de la institución a todas sus sedes. Esta plataforma debe permitir la conexión con dispositivos móviles.
- Definir políticas de uso de correo electrónico y mensajería en general en la que se explique para qué utilizarlo y para qué no, qué es obligatorio incluir dentro de los mensajes, etc.

- **Procesamiento y almacenamiento.** Se refiere a recomendaciones relacionadas con los equipos que se utilizan, sistemas base y almacenamiento de información. Esta infraestructura hace referencia al *hardware* requerido y sus características de gestión para el procesamiento de información y para su correcto almacenamiento. Entre las recomendaciones se encuentran las siguientes:

- Procurar que los equipos que vayan a soportar las aplicaciones de la institución cuenten con *hardware* tipo servidor. Entre las características de estos equipos puede hablarse de doble fuente de poder, buses de alta velocidad y tarjeta de red Gigabit Ethernet.
- Tener características de alta disponibilidad en el caso de equipos críticos en la infraestructura, como servidores y equipo de interconexión neurálgicos de la red.
- Contar con estándares del tipo de equipos, sistemas base y aplicativos que la IES autoriza adquirir en el caso de servidores, equipos de interconexión, computadores cliente y otros dispositivos, así como sus características mínimas tecnológicas, de garantías, legales, soporte, etc.

- Procurar que los sistemas de almacenamiento de datos importantes o críticos para la operación de la IES se encuentren fuera de los servidores de aplicaciones.
 - Contar con sistemas de administración de datos distribuidos que mantengan copias de la información almacenada en varios periféricos, de modo que se puedan agilizar los procesos de entrada y salida del sistema, y hacerlo más tolerante a fallos. Sistemas tipo RAID (*Redundant Array of Independent Disks*) podrían ser un ejemplo de esto.
 - Tener políticas y procedimientos para el almacenamiento, copias de seguridad y recuperación de datos de los sistemas y almacenamientos de los que dispone la IES.
 - Contar con motores de base de datos robustos y eficientes que soporten adecuadamente la operación de la IES.
- **Redes de datos y comunicaciones.** Se dan recomendaciones sobre la red o redes de computadores que permiten la interconexión de la IES hacia el interior y el exterior de ésta. Los servicios de redes permitirán la interconexión entre los componentes de la infraestructura tecnológica, por lo que hay que considerar condiciones de disponibilidad, continuidad y privacidad para la información que a través de ella se transmiten. De la correcta operación de la red dependerá que los usuarios puedan utilizar los servicios de la IES, por lo cual es crítico su correcto funcionamiento. Las siguientes son las recomendaciones relacionadas con el diseño y la operación de dicha infraestructura:
 - Procurar que los equipos que conforman la red (*routers*, *switches*, *routers* inalámbricos, etc.) tengan características de administración remota, de tal manera que faciliten la gestión de ésta.
 - Utilizar *switches* capa 2 y capa 3, usando las propiedades de agregación para la interconexión de dichos equipos, de tal modo que se cuente con canales de mayor capacidad.
 - Contemplar en el diseño la transferencia de datos a través de servicios que requieren alta disponibilidad y velocidad de transmisión, como aplicaciones de voz y *streaming* de video. Es decir, contar con mecanismos de calidad de servicio (QoS) y gestión del ancho de banda en la red.
 - Diseñar la red de la IES y su direccionamiento IP sobre el nuevo estándar IPv6, dada la evolución de IPv4 hacia Ipv6, debido a la escasez de direcciones y condiciones de seguridad de la primera mencionada.
 - Contar con una red Giga Ethernet (1/10/40/100 Gbps) o al menos Fast Ethernet para soportar la operación de la institución.
 - Tener una arquitectura de red de alta disponibilidad para la institución, de modo que los servicios críticos o aquellos que afecten en mayor medida la operación funcionen adecuadamente durante los intervalos de tiempo requeridos por la IES.
 - Procurar que para el caso de las comunicaciones inalámbricas éstas permitan una fácil administración, centralizada en cuanto a configuración, análisis de rendimiento y mantenimiento.
 - Tomar en cuenta buenas prácticas aceptadas a escala mundial, en lo referente al diseño de la red, como por ejemplo las recomendaciones dadas por Cisco Systems (Cisco Systems, 2007). Entre estas recomendaciones se encuentran el modelo de redes de tres capas (Core - núcleo, distribución y acceso) para la red local en cada sede de la institución, interconexión de alta velocidad y redundancia en la interconexión de componentes - enlaces redundantes, que permitan balancear el tráfico y soportar la carga total si algún enlace sale de operación. En particular, se deben incluir enlaces alámbricos e inalámbricos para dar conectividad a la comunidad de la IES, e incluir enlaces de alta velocidad en las capas de distribución y acceso.
 - Constituir redes privadas virtuales (VLANs), de acuerdo con las necesidades de flujo de información entre nodos de la red.
 - Tener en cuenta las restricciones de seguridad en el diseño de la red, implementando soluciones que controlen el acceso de estaciones sólo a aquellas autorizadas para ingresar a la red corporativa.
 - Diseñar e implementar el cableado estructurado siguiendo los estándares internacionales; como mínimo, debe cumplir con el estándar EIA/TIA 568, categorías 5E y 6, mantenerse organizado y con la documentación actualizada.

- **Centro de datos.** Es el corazón de la infraestructura tecnológica; en él se encuentran los servidores y los medios de almacenamiento que soportan la operación de la IES, además de otros elementos que complementan el servicio. Es importante que este centro se apoye en estándares, buenas prácticas y recomendaciones que ayuden a prestar el servicio de manera adecuada a los usuarios. Se consideran características deseables del centro de datos escalabilidad y agilidad, rendimiento, flexibilidad para soportar varios servicios, seguridad, redundancia y alta disponibilidad, administrable, multiplataforma. Este centro de datos puede ser propio o administrado por terceros, incluso estar en la nube, pero el área de tecnología de la IES podrá tener en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - Contar con un diseño arquitectónico del centro de datos, de tal manera que sea modular, escalable, redundante, que facilite el soporte y sea amigable con el medio ambiente.
 - Revisar los acuerdos de nivel de servicios para determinar necesidades de servicio y soporte, de modo que, por ejemplo, se definan servicios de misión crítica que requieran atención 24 horas al día por 365 días del año o periodos especiales de atención, por ejemplo en época de matrícula y horarios.
 - Llevar el centro de cómputo hacia plataformas de virtualización, con el ánimo de hacer un uso eficiente de los recursos de cómputo disponibles –humanos, de espacio y energéticos–. Adicionalmente, la virtualización permite contar con una infraestructura elástica/dinámica, que crece y se reduce en la medida de las necesidades de la institución.
 - Considerar los siguientes ítems para los procesos de consolidación de servicios sobre la plataforma virtualizada: planeación de la virtualización, inventario de servicios que hay que virtualizar, requerimientos, configuraciones especiales, fechas críticas, responsables, etc. Definir orden de migración de sistemas, determinando en qué orden se hará la virtualización de los diferentes servicios. Revisar la criticidad de los servicios y de las plataformas que se están virtualizando. Hacer pruebas técnicas de unidad y de integración de la plataforma virtualizada que involucren a grupos de usuarios de los servicios en este proceso.
 - Automatizar los procesos rutinarios del centro de cómputo y contar con bitácora de éstos para auditorías, puntos de chequeo y solución de conflictos.
 - Emplear tecnologías tipo *blade* en los servidores para centralizar servicios en *racks* de servidores, así como para disminuir la probabilidad de fallos debido a piezas mecánicas haciendo un uso más eficiente del espacio en el centro de cómputo.
 - Hacer recomendaciones relacionadas con el espacio usado para el centro de cómputo, tales como ubicar el centro de datos en un piso alto, utilizar mobiliario no incendiable o con pintura retardante, incluir en el diseño del centro de datos sistemas de enfriamiento y control de temperatura, pisos y paredes claras para mejorar la iluminación, detectores de humo e incendio, extintores adecuados para el tipo de materiales contenidos en el recinto, y no almacenar papeles, libros y en general material inflamable.
 - Seguir estándares eléctricos, incluido el tema de corriente regulada y sistema de puesta a tierra. Así mismo, contar con fuentes de alimentación eléctrica de diferente índole, de tal manera que se disponga de un suministro permanente de energía; se pueden incluir alimentación eléctrica hacia el centro de datos desde diferentes circuitos de la empresa de energía eléctrica que atiende a la IES, planta eléctrica y alimentación ininterrumpida (UPS).
 - Revisar la disponibilidad requerida para los componentes del centro de datos, al igual que los niveles definidos en el estándar ANSI/TIA 942 (*Data Center Standards Overview*), los cuales pueden resumirse así: *Tier 1* - básico: *datacenter* básico, componentes no redundantes. *Tier 2* - redundancia de componentes: componentes energéticos y de enfriamiento redundantes. *Tier 3* – mantenimiento concurrente: mayor redundancia de los componentes y posibilidad de mantenimiento en medio de la operación. Doble fuente de potencia pero sólo una activa. *Tier 4* - tolerante a fallos: doble fuente de poder activa, planes para evitar interrupciones en servicios críticos.

- Implementar un sistema de control de acceso automatizado con el ingreso al centro de cómputo mediante mecanismos que permitan verificar al personal que ingresa y mantener registro de ello. Se pueden utilizar sistemas como tarjetas inteligentes, sistemas biométricos y claves de acceso.
- Instalar una salida de emergencia que desbloquee el sistema de acceso para salvaguardar la vida humana pero que no deje desprotegida la infraestructura tecnológica de la IES.
- Tener documentación general del centro de datos, como procedimientos, guías, directorios, planes, etc., que facilite la comprensión de la infraestructura y los sistemas, y que además mantenga el conocimiento tecnológico de la institución.
- Contar con contratos de garantía y mantenimiento preventivo y correctivo para la plataforma de la institución.
- Gestionar el licenciamiento de *software* a través de sistemas de administración de licencias que faciliten y apoyen su mantenimiento.
- Disponer de un centro de datos alternativo que apoye el proceso de continuidad del negocio de la institución. Para esto se pueden tener opciones, como las siguientes:
 - Dividir el centro de datos en dos, ubicándolos en dos sedes/edificios de la institución, para que cada uno se encargue de manejar parte de la operación, pero con el dimensionamiento y configuración para soportar la operación total en caso de emergencia.
 - Contar con un centro de datos de respaldo, el cual se mantendría sincronizado en línea (o podrían tenerse procesos *batch* para sincronización) con el centro de datos principal, y en caso de que el principal falle, el de respaldo asumiría la operación.
 - Hacer acuerdos con otras instituciones para convertirse en centros alternos entre ellas.
 - Contratar con un proveedor externo la prestación del servicio de *datacenter* o del *backup* de éste.
- Contar con un sistema de gestión y monitoreo permanente del centro de datos y de la infraestructura, de modo que se generen alarmas relacionadas con fallos, sobrepaso de límites definidos y estado de componentes.
- **Seguridad informática.** Parte de la seguridad de la información está determinada por el buen uso y control de la infraestructura informática de la institución. Es clave proteger dicha infraestructura para que la información contenida, procesada y transmitida por medio de ella mantenga sus características de confiabilidad, disponibilidad, integridad y trazabilidad. Las recomendaciones presentadas en este apartado hacen referencia a características de seguridad que se deben considerar durante el diseño, implantación y operación específica de la arquitectura tecnológica dentro de la IES.
 - Seguir las recomendaciones dadas por la familia de estándares ISO 27000 o similares. En esta serie, la IES puede encontrar guías sobre cómo constituir un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI), cómo implantar seguridad teniendo en cuenta diferentes aspectos, cómo hacer análisis de riesgos y cómo definir planes de continuidad, entre otros. Todos alineados a la arquitectura empresarial y, por ende, a las necesidades de la institución.
 - Realizar programas de entrenamiento y concientización de toda la comunidad universitaria hacia la protección de la información y los sistemas definidos por la IES para su protección.
 - Contar con el documento de políticas de seguridad de la IES, el cual debe incluir temas como acceso a datos y servicios, seguridad física, sistemas de información, control de contraseñas, procesos de respaldo (*backups*), transmisión de información, acceso a instalaciones y usos de la infraestructura. Dichas políticas las deberá conocer y aceptar toda la comunidad de la IES. Por ejemplo, en el caso de los empleados de la institución, éstos deberán firmar su aceptación con el contrato laboral, y en el caso de los estudiantes, con el acta de matrícula.
 - Tener mecanismos de almacenamiento que permitan que la información de la institución, sobre todo la que sea crítica, se almacene en un repositorio central y no en los computadores de cada funcionario.
 - Disponer de mecanismos de protección de datos almacenados en computadores portátiles o en dispositivos móviles. Además, se deben definir políticas para el manejo de estos dispositivos y

definir la posición de la IES en relación con la tendencia de que los usuarios lleven a la empresa sus equipos personales (*Bring Your Own Device, BYOD*).

- Contar con sistemas de control de tráfico de los datos que viajan por la red, el almacenamiento y el procesamiento. Adicionalmente, tener políticas y mecanismos de implementación, así como sistemas que permitan controlar el tráfico que atraviesa la institución.
- Considerar, en el caso de la plataforma de sistemas operativos tales como Windows, IOS y Linux, que debe tratarse de distribuciones estables, adecuadamente licenciadas, y mantenerse los “parches” al día.
- Disponer de sistemas de reproducción en caliente y *backup* por lotes, de la información almacenada en la IES. Estos sistemas deben permitir fácil verificación de funcionalidad y facilidad de acceso por el personal autorizado. También es recomendable contar con sistemas de tal tipo cerca del centro de datos y lejos de éste en el caso de una contingencia mayor.
- Procurar que la interconexión entre sedes y desde lugares diferentes de la red de la institución, y que implique conexión a los sistemas corporativos, se haga a través de mecanismos seguros, estilo redes privadas virtuales (*Virtual Private Networks, VPNs*), web segura (*HTTPS*), canales seguros (*Secure Socket Layer, SSL*), etc.
- Considerar, en lo referente a la seguridad física de la infraestructura tecnológica, al menos lo siguiente: contar con sistemas de detección de incendios, instalar y monitorear el sistema de cámaras de seguridad, y disponer de extintores en los sitios donde se cuente con infraestructura tecnológica. El tipo de extintor deberá cumplir con las condiciones necesarias para sofocar incendios de dichos recursos, ser fácilmente accesible, tener el mantenimiento apropiado y contar con señalización adecuada en toda la infraestructura. Se debe realizar el diseño de control de acceso a todas las zonas donde se cuente con recursos informáticos, a la luz de las restricciones y características de seguridad de la información contenida en la infraestructura. Es clave contar con la limpieza adecuada en cada zona en la que se tenga infraestructura tecnológica. En el caso de equipos sensibles, como servidores y equipos de interconexión, es importante mantenerlos lejos del público. Se debe determinar para la IES cuáles equipos se consideran sensibles para determinar su ubicación. Es deseable contar con sistemas de monitoreo de las instalaciones de la IES. Se recomienda tener una política de custodia de medios y recursos informáticos dentro de la institución de educación superior para determinar responsabilidades y privilegios de los usuarios.
- Tener un Plan de Recuperación de Desastres (*Disaster Recovery Plan, DRP*) que apoye el Plan de Continuidad de Negocios (*Business Continuity Plan, BCP*). Estos planes se deberán aprobar, informar y probar.
- Deberán implantarse sistemas de registro y control de ingresos y salidas de personal y recursos, según el nivel de seguridad de la IES.
- Contar con una política asociada al control de información y destrucción de medios para la IES.
- **Gobierno de TI.** Se trata de recomendaciones relacionadas con el gobierno de TI dentro de la IES. Para mantener una permanente alineación de TI con el negocio e ir adaptando la arquitectura de la institución, es clave contar con una estrategia de gobierno de TI, la cual se apoyará en la gestión de TI en lo referente a la arquitectura tecnológica. A continuación se dan algunas recomendaciones al respecto:
 - Es importante definir acuerdos de nivel de servicios (*Service Level Agreement, SLA*) con la comunidad de la IES, de tal manera que se cuente con reglas claras entre la organización de TI y los usuarios de los servicios y se facilite su comunicación.
 - Apoyarse en buenas prácticas y estándares de protección de información y administración de TI, tales como gestión de TI: ITIL (*Information Technology Infrastructure Library*) e ISO 20000 (*Service Management System, SMS, standard*), gestión de seguridad de la información: ISO 27000 (familia de estándares de seguridad informática) y gobierno de TI: Cobit (*Control Objectives for Information and Related Technology*).
 - Diseñar, constituir y controlar los servicios de infraestructura a través de una mesa de ayuda.

Esta mesa estará en capacidad de atender clientes remotos y tomar control de sus escritorios para darles soporte, entre otras cosas.

- Diseñar e implementar un sistema de indicadores de gestión de la arquitectura tecnológica de la IES.

CONCLUSIONES

Como se puede observar a lo largo de este artículo, es clave contar con una infraestructura de TI que responda a las necesidades de la institución; para lograrlo es importante partir desde la revisión de la IES, su visión y misión, su entorno y su plan estratégico, para de allí determinar cómo TI puede apoyarla en su desarrollo. Por tal motivo, al construir la arquitectura de negocio se plasma el horizonte de la institución, y a partir de allí pueden determinarse los datos que requiere, usa o genera, así como las aplicaciones a través de las cuales se manipularán dichos datos. Sólo después de tener todo lo anterior claro se puede construir la arquitectura tecnológica, la cual buscará responder a las necesidades identificadas en las otras arquitecturas y de esta manera poder dimensionar más acertadamente las necesidades de inversión en TI de la institución. Es así como esta última arquitectura permitirá hacer una planeación estratégica de TI respondiendo a las inquietudes de la dirección de la institución, sobre los beneficios que obtendrá a partir de las inversiones en TI, las necesidades que cubre y su integración hacia lo ya existente.

BIBLIOGRAFÍA

- Anuies. (jul.-sep. de 1998). *La educación superior en el siglo XXI*, p. 107.
- Arango Serna, M. D., Ordóñez Salazar, J. E. & Zapata Cortés, J. A. (2010). *Arquitecturas empresariales: una visión general*, 9(16).
- Cisco Systems (2007). CCNA4 - Accessing de WAN. San José, CA, USA.
- Gibbons, M. (1998). Pertinencia de la educación superior en el siglo XXI. París: Conferencia Mundial sobre la Educación Superior de la Unesco.
- Harrell, J. M. & Sage, A. P. (2010). *An enterprise architecture methodology to address the Enterprise Dilemma*, 9.
- Johnston, A. K. & Wiggins, R. (2003). Modelling the Enterprise Data Architecture. Obtenido de <http://www.andrewj.com/publications/Modelling%20an%20Enterprise%20Data%20Architecture.pdf>
- Oliveira, L. A., Veloso Cald, N., Barbosa Pereira Queiroz, F. C., Viegas Queiroz, J. & Héris, H. R. (2011). *Contribution of Integrated Management Systems to University Management: Case Study of the Federal University of Rio Grande do Norte*, 7(3). Obtenido de <http://190.24.150.71:2059/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=c16628e3-cc12-43ad-af14-c14a4594b894%40sessionmgr114&vid=1&hid=128>.
- Oramas, J. E. (2011). *Notas de clase sobre arquitecturas empresariales avanzadas*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Ross, J. W., Weill, P. & Robertson, D. C. (2006). Enterprise Architecture as strategy. *Harvard Business Press*.
- Sangrà, A. (2001). La calidad en las experiencias virtuales de educación superior. Revista *Cuadernos IRC*, España.
- Santiago, C. (2013). Propuesta de arquitectura empresarial para una institución de educación superior. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Santiago, C. P. (2014). Propuesta de arquitectura empresarial para una universidad como un apoyo a su desarrollo frente a los retos del siglo XXI. The Twelfth Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (Laccei). Guayaquil: EBSCO Publishing.
- Shoham, S. & Perry, M. (2008). *Knowledge management as a mechanism for technological and organizational change management in Israeli universities*, 57.
- Unesco (1998). Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI: visión y acción y marco de acción prioritaria para el cambio y el desarrollo de la educación superior. París.

Propiedades volumétricas de soluciones de asfaltenos en tolueno y su relación con el envejecimiento por uso de los asfaltos

Volumetric properties of asphaltene solutions in toluene and their relationship with use-related asphalt aging

ALBERTO JAVIER GÓMEZ ESQUIVIA

Químico y magíster en química-termodinámica. Profesor del Departamento de Ciencias Naturales de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

alberto.gomez@escuelaing.edu.co

Recibido: 12/10/2014 Aceptado: 25/10/2014

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

El propósito de este artículo es ilustrar en qué forma influyen entidades químicas como los asfaltenos en el comportamiento de los asfaltos, a partir del comportamiento volumétrico de sus soluciones en el envejecimiento por usos como ligantes para pavimentos.

Palabras claves: asfaltos, asfaltenos, volumen específico, volumetría.

Abstract

This publication is intended to illustrate how chemical entities such as asphaltenes, used as binders for pavements, influence the behavior of asphalt from the volumetric behavior of their solutions in aging.

Keywords: asphalt, asphaltenes, volume, specific volume.

INTRODUCCIÓN

Los asfaltenos son la fracción más pesada de una compleja mezcla de compuestos que constituyen lo que llamamos asfaltos, los cuales pueden ser de origen natural u obtenidos por destilación de crudos. Los asfaltos contienen también hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos saturados y resinas; en consecuencia, estas fracciones se pueden separar con el método llamado SARA (ASTM D-4124-91).

Los asfaltenos se caracterizan porque son solubles en un solvente apolar como el tolueno, pero insolubles en heptano o pentano; además, se les considera responsables de las características estructurales de dureza y resistencia de los asfaltos. Su presencia también se relaciona con problemas de bombeo muy frecuentes, atribuidos a su densidad (1-4).

El volumen específico es una propiedad intensiva, ya que no depende de la cantidad de masa y es el inverso de la densidad, lo que significa que mide el volumen en cantidad de masa. Esta propiedad es muy importante a la hora de evaluar comportamientos termodinámicos de solutos, ya sea en solventes polares o apolares (5,6), pues proporciona además información vital sobre estabilidad y formación de agregados moleculares que, como en el caso de los asfaltenos, suelen ocurrir dada su alta complejidad química (7-14).

MÉTODOS EXPERIMENTALES

Los asfaltenos insolubles de asfaltos nuevos y envejecidos se extrajeron como la fracción insoluble en n-heptano, según las normas ASTM D3279 - 81.

Para hallar la densidad de soluciones de asfaltenos en tolueno, se utilizaron picnómetros de cuello capilar del tipo Wood y Bruise (19), con una capacidad cercana a 45 cm³ y capilar de 9-11 cm de longitud y 1 mm de diámetro. Los picnómetros descritos anteriormente permiten obtener una precisión en la medida de densidad de $\pm 5 \times 10^{-5}$ g/cm³ cuando se trabajan con soluciones diluidas (19).

La calibración de los picnómetros se realizó como líquido de referencia, agua bidestilada y desgasificada, con el fin de que la calidad en la medida obtenida fuese comparable a la reportada en la bibliografía, cuya densidad es de 0,997047 g/cm³ a 25,00 °C y tomando en cuenta todas las condiciones óptimas con las cuales se deben obtener las medidas, como limpieza de los

picnómetros, la forma de llenado, la temperatura del baño termostataado y el tiempo de permanencia de los picnómetros antes y después de llevarlos a volumen.

Para determinar el volumen de cada picnómetro se siguió el procedimiento de limpieza con una mezcla de ácido sulfúrico concentrado y dicromato de potasio. Después se lavan y secan para obtener el peso de cada picnómetro vacío; acto seguido, se llenan con agua y se colocan en el baño termostataado durante 30 minutos a $25,00 \pm 0,005$ °C para aforar hasta el volumen establecido. Cuando han permanecido por 20 minutos a esta temperatura se verifica que el volumen permanezca constante, se retiran del termostato, se dejan a temperatura ambiente y se pesan; este procedimiento se realizó cuatro veces para cada picnómetro.

El volumen de cada picnómetro se ha de calcular con el peso del agua contenida en cada uno a $25,00 \pm 0,005$ °C, utilizando la siguiente ecuación:

$$\delta_{H_2O} = \frac{W_{H_2O}}{V \text{ picnómetro}}$$

El procedimiento de pesado se realizó con una balanza Mettler AT- 250 de precisión $\pm 1 \times 10^{-5}$. Al hacer los cálculos respectivos, se encontró que no era necesario aplicar corrección por empuje del aire.

A continuación se presentan los resultados de calibración. Se incluye el volumen de cada uno de los picnómetros usados, así como la respectiva desviación estándar (tabla 1).

Tabla 1
Calibración de picnómetros

Picnómetro	V picnómetro (cm ³)	σ (cm ³)
1	44,2770	$3,1 \times 10^{-4}$
2	42,9302	$1,9 \times 10^{-4}$
3	44,0423	$1,3 \times 10^{-4}$
4	44,0405	$1,1 \times 10^{-4}$

Para determinar, se prepararon soluciones de asfaltenos en tolueno, expresando la concentración en porcentaje peso a peso (% p/p), siguiendo la recomendación de algunos autores (1, 11, 14-25).

Las concentraciones fueron las siguientes: 1×10^{-4} , 5×10^{-4} , 1×10^{-3} , 5×10^{-3} , 1×10^{-2} , 5×10^{-2} , 0,1, 0,5, 1,00,

2,00, 3,00, 4,00, 5,00. La densidad de cada solución se obtuvo por cuadruplicado, siguiendo el procedimiento descrito en la calibración de picnómetros.

RESULTADOS

Más adelante se presentan las propiedades volumétricas de los asfaltos no envejecidos y envejecidos, respectivamente (tablas 3 y 4).

Los datos de la densidad de soluciones de asfaltos (δ) se utilizaron para calcular el volumen específico (V_{sp}) o volumen por gramo de soluto (cm^3/g), que es básicamente el inverso de la densidad, y el volumen parcial específico \bar{V}_2 (cm^3/g). Este último se obtiene tomando la pendiente a varias concentraciones en la curva de volumen total V_T (peso total/ δ), en función de la concentración expresada en gramos en soluto w_2 en 1000 g de solvente.

$$\bar{V}_2 = (\partial V_T / \partial W)_{T,P,nl}$$

Tanto el volumen específico como el total hacen referencia a la solución, mientras que el volumen parcial específico tiene que ver con el incremento de volumen ocasionado por la adición de 1 gramo de asfalto a la solución a presión, temperatura y cantidad de solvente constante.

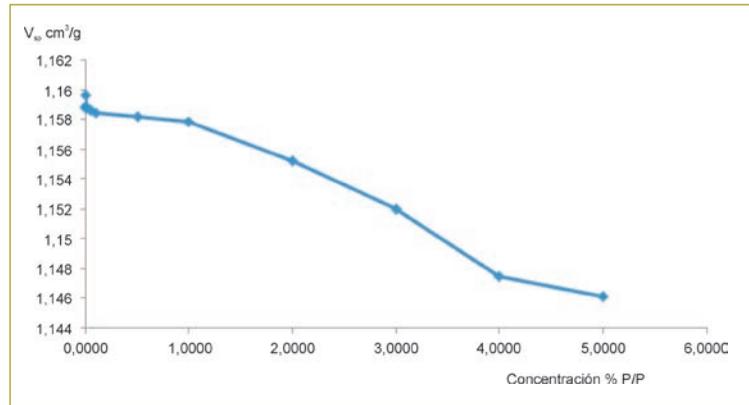


Figura 1. Volumen específico de soluciones de asfaltos no envejecidos, en tolueno vs. concentración a 25,00 °C.

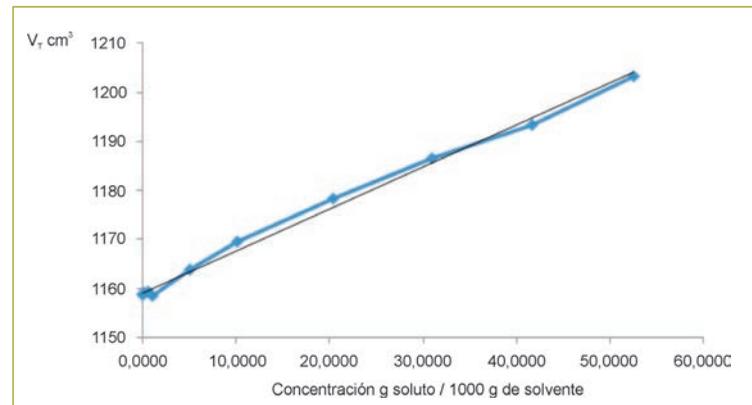


Figura 2. Volumen total de soluciones de asfaltos no envejecidos, en tolueno vs. concentración a 25,00 °C.

Tabla 2

Propiedades volumétricas de soluciones de asfaltos no envejecidos, en tolueno a 25,00 °C

% P/P	W_2 / kg solv.	δ (g/cm³)	V_{sp} (cm³/g)	V_T (cm³)	\bar{V}_2 (cm³/g)
0,00000		0,86232	1,15966		
0,00010	0,0010	0,86291	1,15887	1158,87	
0,00050	0,0050	0,86292	1,15886	1158,86	
0,00100	0,0100	0,86293	1,15884	1158,85	2,10264
0,00500	0,0500	0,86294	1,15883	1158,89	1,72582
0,01000	0,1000	0,86295	1,15882	1158,93	1,58510
0,05000	0,5003	0,86307	1,15865	1159,23	1,30103
0,10000	1,0010	0,86321	1,15847	1158,47	1,19484
0,50000	5,0251	0,86341	1,15820	1163,99	0,98020
1,00000	10,1010	0,86367	1,15785	1169,43	0,89972
2,00000	20,4082	0,86562	1,15524	1178,35	0,82533
3,00000	30,9278	0,86804	1,15202	1186,58	0,78428
4,00000	41,6667	0,87146	1,14750	1193,40	0,75612
5,00000	52,6316	0,87251	1,14612	1203,42	0,73492

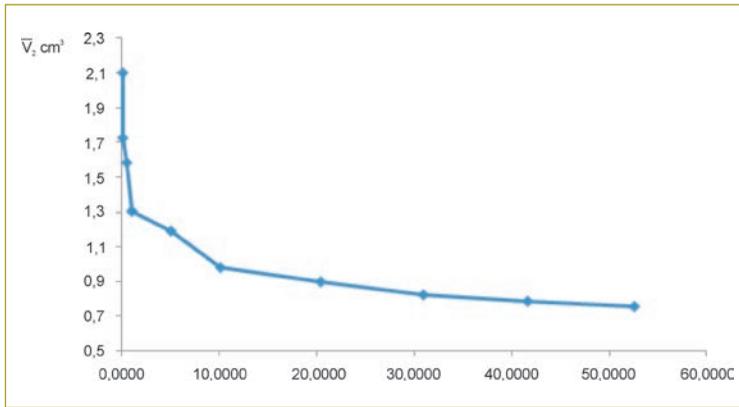


Figura 3. Volumen específico de soluciones de asfaltos no envejecidos, en tolueno vs. concentración a 25,00 °C.

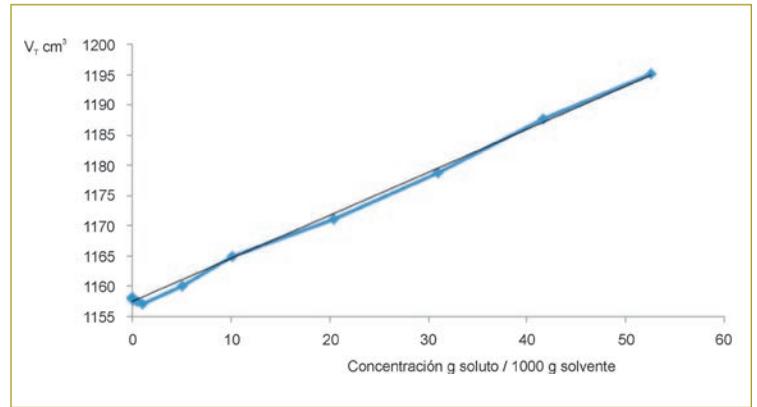


Figura 5. Volumen total de soluciones de asfaltos envejecidos, en tolueno vs. concentración a 25,00 °C.

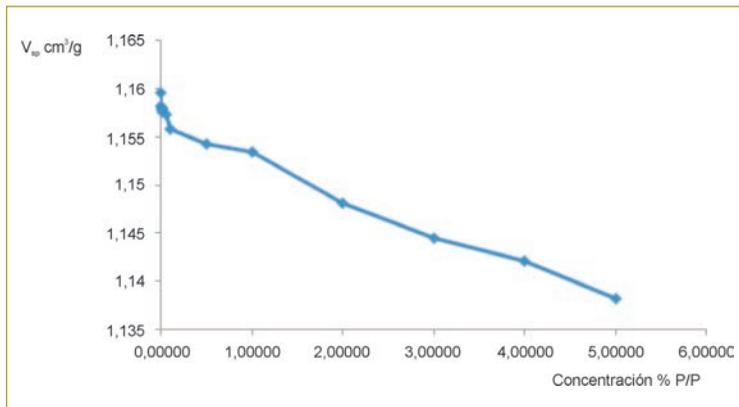


Figura 4. Volumen específico de soluciones de asfaltos envejecidos, en tolueno vs. concentración a 25,00 °C.

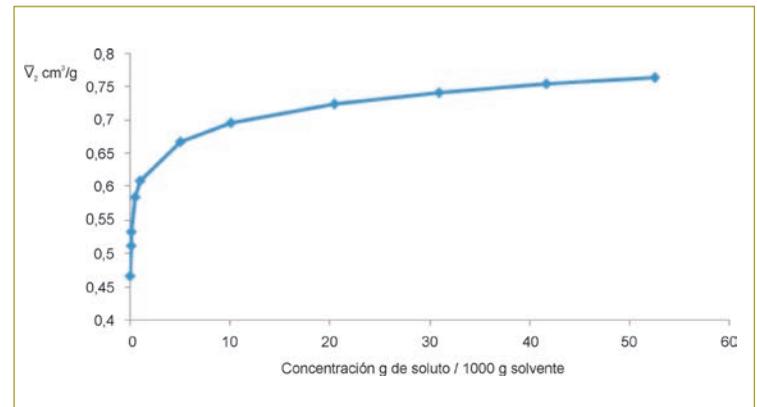


Figura 6. Volumen específico de soluciones de asfaltos envejecidos, en tolueno vs. concentración a 25,00 °C.

Tabla 3

Propiedades volumétricas de soluciones de asfaltos envejecidos, en tolueno a 25,00 °C

% P/P	W ₂ / kg solv.	δ (g/cm ³)	V _{sp} (cm ³ /g)	V _T (cm ³)	V̄ ₂ (cm ³ /g)
0,00000		0,86232	1,15966		
0,00010	0,0010	0,86343	1,15817	1158,1727	
0,00050	0,0050	0,86349	1,15809	1158,0968	
0,00100	0,0100	0,86358	1,15797	1157,9819	0,46618
0,00500	0,0500	0,86362	1,15792	1157,9746	0,51152
0,01000	0,1000	0,86384	1,15762	1157,7375	0,53238
0,05000	0,5003	0,86407	1,15731	1157,4294	0,58416
0,10000	1,0010	0,86518	1,15583	1156,9847	0,60801
0,50000	5,0251	0,86629	1,15435	1160,1196	0,66730
1,00000	10,1010	0,86695	1,15347	1165,0037	0,69471
2,00000	20,4082	0,87096	1,14816	1171,1215	0,72347
3,00000	30,9278	0,87372	1,14453	1178,8674	0,74102
4,00000	41,6667	0,87558	1,14210	1187,7841	0,75387
5,00000	52,6316	0,87851	1,13829	1195,2055	0,76409

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En los gráficos de volumen específico, de volumen total y en especial el de volumen parcial específico se aprecia un cambio notorio en el comportamiento a medida que aumenta la concentración.

El gráfico de volumen parcial específico es el que más información arroja sobre el comportamiento de los asfaltenos en solución. Se observa que en el caso de asfaltenos nuevos o no envejecidos el volumen parcial específico tiene, para las mismas concentraciones, un valor mayor para asfaltenos envejecidos. Por otra parte, su valor disminuye bruscamente con la concentración y luego tiende a estabilizarse, mientras que en asfaltenos envejecidos ocurre lo contrario, el volumen parcial aumenta y luego tiende a estabilizarse. En este caso, el incremento en el volumen parcial específico de los asfaltenos envejecidos al aumentar la concentración se explica por la interacción favorable entre los compuestos polares y el tolueno.

A renglón seguido se registran los valores para el volumen parcial específico a dilución infinita, así como la concentración a la cual se observan el cambio brusco en el comportamiento volumétrico y el correspondiente valor de volumen (tabla 4).

Tabla 4

Volumen parcial específico a dilución infinita \bar{V}_2^0 cm³/g, concentración y volumen parcial específico de transición \bar{V}_{2T} para asfaltenos a 25,00 °C

Muestra	\bar{V}_2^0 cm ³ /g	W_{2T} / kg solv.	\bar{V}_{2T} cm ³ /g
Asfaltenos no envejecidos	1,1949	0,310	1,054
Asfaltenos envejecidos	0,6079	0,263	0,6318

El comportamiento observado, y en particular el volumen parcial específico a dilución infinita, indica que las interacciones entre las entidades constituyentes de asfaltenos envejecidos son mayores que las de asfaltenos no envejecidos, lo cual se refleja en su menor \bar{V}_2^0 .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sheu E. Y. & Mullins, O. C. (1995). Asphaltene, Fundamentals and Applications, capítulos; I y IV. New York.
- Quddus, M.A. & Khan, F. Factors Influencing Asphalt Oxidation. *Fuel*, 63, 509.
- Quddus, M.A. & Fhan, F. (1981). Catalytic Air Blowing of Asphalt. *Chimie-Ingenieur- Technik*, 63. 170.

- Quddus, M.A., Sawar, S.N. & Khan, F. (1995). The Chemical Composition of Catalytic Air Blown Asphalt. *Fuel*, 74, 684.
- Romero, C.M. et al. (2007). Effect of temperature on the volumetric properties of dilute aqueous solutions of 1,2-hexanediol, 1,5-hexanediol, 1,6-hexanediol, and 2,5-hexanediol. *J. Chem. Thermodyn.* 39,1101-1109.
- Romero, C.M. & Páez, M. (2007). Volumetric Properties of Aqueous Binary Mixtures of 1-Butanol, Butanediols, 1, 2, 4-Butanetriol and Butanetetrol at 298.15K. *J. Solution Chem.* 36, 237-245.
- Torres, R.B., A.C.M., Marchiore & P.L.O., Volpe (2006). Volumetric properties of binary mixtures of (water + organic solvents) at temperatures between T = 288.15 K and T = 303.15 K at p = 0.1 Mpa. *J. Chem Thermodynamics.* 38, 526-541.
- Torres, R.B., A.C.M., Marchiore & P.L.O., Volpe (2006). Volumetric properties of binary mixtures of (water + organic solvents) at temperatures between T = 288.15 K and T = 303.15 K at p = 0.1 Mpa. *J. Chem Thermodynamics.* 38, 526-541.
- Xu, L. et al. (2006). Densities and volumetric properties of 2-chloroethanol with N,N-dimethylformamide and water at different temperatures. *J. Mol. Liq.* 123(2-3), 130-133.
- Flory, P.J. (1961). Principle of Polymer Chemistry, cap. VII. New York: Cornell University.
- Tanford, Ch. (1961). Physical Chemistry of Macromolecules. New York: John Wiley.
- Sheu, E.Y., Shields, M.B. & Storm, D.A. (1994). Viscosity of base-treated asphaltene solution. *Fuel*, 73, 1766.
- Sheu, E.Y., Storm, D.A. & Shields, M.B. (1995). Adsorption Kinetic of Asphaltenes at toluene/ acid solution interface. *Fuel*, 74, 1475.
- Sheu, E.Y., De Tar, M.M. & Storm, D.A. (1991). Rheological Properties of vacuum residue fractions in organic solvents. *Fuel*, 70, 1151.
- Strausz, O.P., Mojelky, T. & Lown, E.M. (1999). Structural Features of Boscan Duri Asphaltenes. *Energy & Fuel*, 13, 228.
- Flory, P.J. (1953). Principle of polymer Chemistry, cap. VII. New York: Cornell University.
- Tanford, Ch. (1961). Physical Chemistry of Macromolecules. New York: John Wiley.
- Herrington, P.R., Wu, Y. & Forbes, M.C. (1999). Rheological modification of bitumen with maleic anhydride and dicarboxylic acids. *Fuel*, 78, 101.
- Munar, R.E. (1988). Volumen molar aparente de aminoácidos en soluciones acuosas de urea. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Weissberger, A. & Rossiter, B.W. (1972). Physical Methods of chemistry, vol. IV. Wiley - Interscience, 103-105.
- Weissberger, A. & Rossiter, B.W. (1972). Physical Methods of chemistry, vol. V. Wiley - Interscience, 507-512.
- Romero, C.M., & Munar, R. (1998). Apparent molar volumes of amino acids in very dilute aqueous solution. *Physic and Chemistry of Liquids*, 36, 83, 25.
- Romero, C.M., Moreno, E. & Rojas, J. (1999). Apparent molar volumes and viscosities of DL - α -Alanine in water - alcohol mixtures. *Thermochemical Act*, 33, 328.
- Artok, L., Su, Y., Hirose, Y., Hosokawa, Murata, S. & Nomura, M. (1999). Structure and Reactivity of petroleum- Derived Asphaltenes. *Energy & Fuel*, 13, 287.
- Sheu, E.Y., De Tar, M.M., Storm, D.A. & DeCaino, S.J. (1995). Aggregation and Kinetics of Asphaltenes in organic solvents. *Fuel*, 72 432.

Enseñanza de la física mediante la construcción de prototipos

Teaching Physics Through of the Construction of Prototypes

HEINDEL RICARDO OTERO ARÉVALO¹ - CARLOS COLLAZOS MORALES² -
JAIME ISAZA CEBALLO³

1. Físico. Profesor del Departamento de Ciencias Naturales de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Físico y magíster en Ingeniería Electrónica y Computadores. Profesor del Departamento de Ciencias Naturales de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

3. Ingeniero civil. Profesor del Departamento de Ciencias Naturales de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

heindel.otero@escuelaing.edu.co - carlos.collazos@escuelaing.edu.co - jaime.isaza@escuelaing.edu.co

Recibido: 30/10/2014 Aceptado: 10/11/2014

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Abstract

The strategy for prototype construction and project-based learning have been applied for two semesters, in several electricity and magnetism courses, with engineering students of Escuela Colombiana de Ingeniería in 2014.

This strategy is focused on three topics, namely: Electroscope (project1 P1), Torsion Balance (P2), and Van Graaff Generator (P3).

Students build low-cost prototypes that allow them to integrate physical modelling, error analysis, and graphical analysis.

This strategy allows improving the learning of electrostatics as well as other know-hows such as graphical expression and oral and written skills.

Keywords: electric charge, generator, electric force.

Resumen

La estrategia de la construcción de prototipos (LCP) y el aprendizaje basado en proyectos (ApBP) se aplicaron durante dos semestres, en varios cursos de electricidad y magnetismo, para estudiantes de ingeniería de la Escuela Colombiana de Ingeniería durante el 2014.

La estrategia se enfoca en tres temas: electroscopio (proyecto1 P1), balanza de torsión (P2) y generador de Van de Graaff (P3).

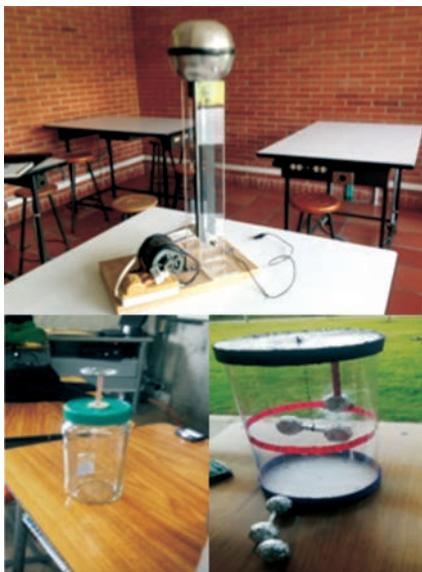
Los estudiantes construyen prototipos de bajo costo, que les permite involucrar el modelamiento físico, la teoría de error y el análisis gráfico.

Esta estrategia permite incrementar el aprendizaje de la electrostática y otros aprendizajes, como la expresión gráfica, la expresión oral y también la escrita.

Palabras claves: carga eléctrica, generador, fuerza eléctrica.

MARCO TEÓRICO

El objetivo es realizar actividades basadas en la concepción constructivista de Piaget (1967), Ausbel (1983) y Hernández (2004), donde los estudiantes planean, desarrollan y evalúan proyectos con aplicaciones más allá del aula de clases y enfocados específicamente en la construcción de prototipos.



Los elementos y beneficios de los proyectos son:

Elementos

- Centrados en el estudiante.
- Definidos: un inicio, un desarrollo y un final.
- Generan un espacio para la reflexión y la autoevaluación por parte de los estudiantes.

Beneficios

- Aumentan las habilidades sociales y de comunicación.
- Incrementan las habilidades para la solución de problemas.
- Permiten que los estudiantes hagan uso de sus fortalezas individuales y colectivas mediante el trabajo colaborativo.

METODOLOGÍA

Semana	Actividad
1	Introducción
3	Definición de la propuesta: Presentación oral I de propuesta y entrega escrita de anteproyecto. Eva. 1, valor 25 %
10	Fundamentación del proyecto: Presentación oral II y entrega escrita de avance I del proyecto. Eva. 2, valor 35 %
16	Resultados finales. Presentación oral III y entrega escrita de artículo. Postest (Sf). Eva. 3, valor 40 %

POBLACIÓN

La estrategia pedagógica (ApBP) y (LCP) en la enseñanza de la electrostática se aplicó a cuatro grupos de teoría con 30 estudiantes por grupo. Para el proyecto se formaron subgrupos de 3 estudiantes, para un total de 40 grupos.

EVALUACIÓN

Evaluación por proyecto

A renglón seguido se muestran los criterios de evaluación de los proyectos (Eva. 1), (Eva. 2) y (Eva. 3).

Tabla 1
Criterios de evaluación de proyectos

Subgrupo:	N	M	R	B	E
Expresión oral					
Expresión escrita					
Expresión gráfica					
Ciclo experimental					
Retroalimentación					
Puntaje (Eva. 1)					

E: Excelente; B: Bueno; R: Regular; M: Malo; N: Nulo (no presenta).

Criterios para evaluar

En la siguiente tabla se resumen los criterios para evaluar el desarrollo y la presentación de los trabajos experimentales que se llevan a cabo, que incluyen el diseño y la construcción de los prototipos que se van a realizar (tabla 2).

Tabla 2
Criterios de evaluación de trabajos

Criterio / Notas	Excelente
Expresión escrita	Cuando hay una redacción expresa en la definición de los principios físicos involucrados en el proyecto y se plantea relaciones entre ellos. También cuando hay un excelente uso del procesador de texto (Word u otro).
Expresión oral	Cuando se demuestra un dominio del tema asignado. Todos los integrantes del grupo conocen en profundidad el proyecto y cómo se desarrolla.
Expresión gráfica	Cuando se demuestran excelentes habilidades para el diseño y construcción del prototipo. Hay un excelente uso del programa para el diseño (<i>Sketch-up</i> u otro programa).
Ciclo experimental	En esta etapa, en la que se diseña y ejecuta óptimamente el ciclo experimental, se toman en cuenta la predicción, la observación y la validación. Debe darse un excelente uso a la hoja de cálculo (Excel, Data-Studio u otra).
Retroalimentación	Se deben dar expresa y claramente las dificultades y fortalezas presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto entre profesores y estudiantes. Debe haber una excelente participación en los talleres programados.

Evaluación conceptual tradicional (Mark Riley)

La evaluación se hace común y corriente. Un ejemplo de la evaluación es la siguiente pregunta:

Tres cargas +q, +Q y -Q están ubicadas en las esquinas de un triángulo equilátero (lados iguales), como se muestra a continuación (figura 1).

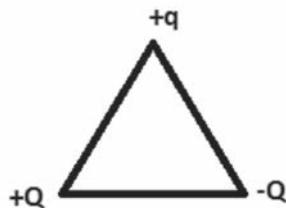


Figura 1.

La dirección de la fuerza sobre la carga +q debido a las otras dos cargas es:

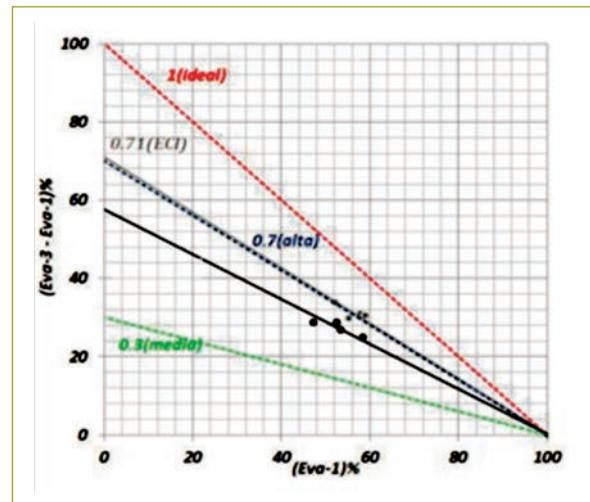
- Vertical hacia arriba.
- Vertical hacia abajo.
- Cero.
- Horizontal a la izquierda.
- Horizontal a la derecha.

RESULTADOS

Después de haber realizado todas las evaluaciones, medimos un porcentaje de ganancia mediante la siguiente fórmula:

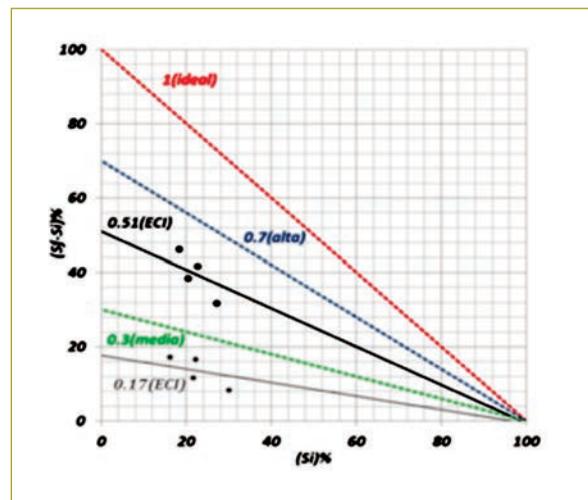
$$g_{1,3} = \frac{\text{Eva. 3} - \text{Eva. 1}}{100 - \text{Eva. 1}}$$

Y se dibuja el siguiente gráfico.



$$g_{1,3} = \frac{Sf\ 3 - Sf\ 1}{100 - Sf\ 1}$$

Con la anterior ecuación se realiza el siguiente gráfico.



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE VAN DE GRAAFF

El generador de Van de Graaff diseñado y construido por estudiantes (figura 2) está compuesto por las siguientes partes.:

- Un motor eléctrico.
- Una cinta aislante transportadora motorizada.
- Una esfera metálica hueca.
- Dos rodillos.
- Una correa que conecta el eje del motor con el rodillo inferior.
- Dos peines metálicos.
- Un interruptor.



Figura 2.

Funcionamiento del generador

Cuando el motor está prendido, la polea transmite el movimiento al rodillo y esto hace que la cinta comience a moverse.

La cinta aislante, al moverse, transporta carga eléctrica a un terminal hueco, que es una esfera metálica. Dentro de la esfera metálica hueca del generador hay un peine metálico (figura 3), el cual carga por inducción a la esfera en mención.



Figura 3.

El peine metálico que se encuentra en la parte inferior (figura 4) hace que la cinta se cargue por inducción.

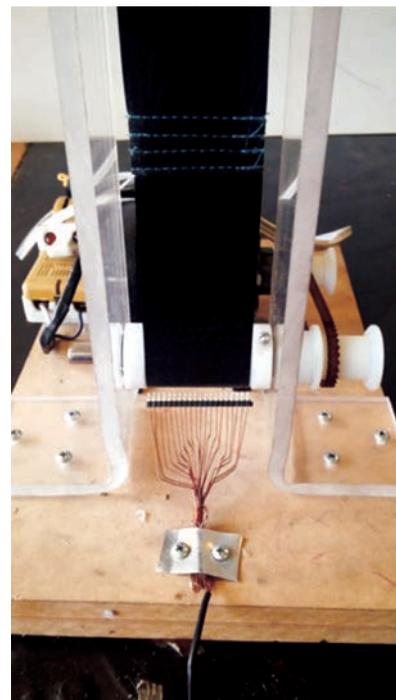


Figura 4.

La cinta transporta esta carga eléctrica y la lleva hasta el peine que está en la parte superior, ubicado dentro de la esfera metálica. En la figura siguiente se muestran el sistema de funcionamiento y el transporte de carga por medio de la cinta aislante transportadora (figura 5).

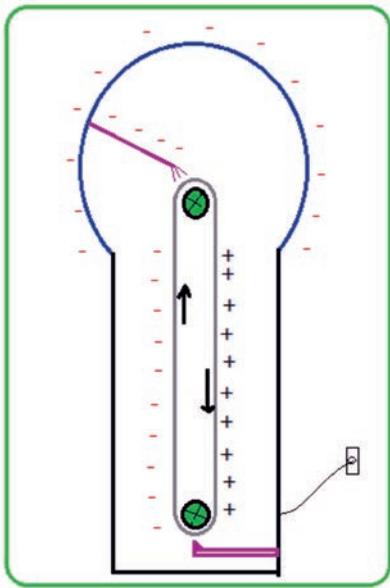


Figura 5. Esquema de un generador de Van de Graaff.

EXPERIMENTACIÓN

Se le acerca al generador una bola liviana, recubierta con papel aluminio.

Cuando el generador se encuentra funcionando, la bola se carga por inducción y se produce una fuerza de repulsión entre los dos cuerpos cargados eléctricamente (figuras 6 y 7).

Se miden los valores del ángulo θ , r_0 y r .

La bola queda suspendida (figura 7), debido a que la fuerza eléctrica es igual al componente horizontal de la tensión de la cuerda en la que se encuentra suspendido la bola.

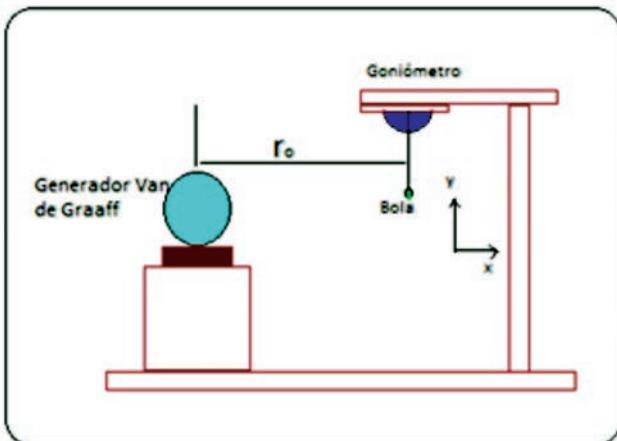


Figura 6.

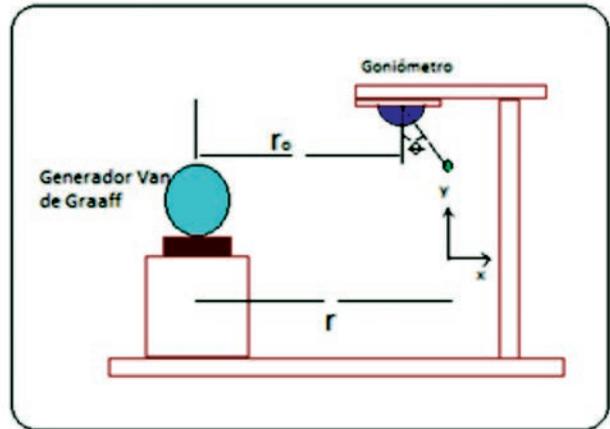


Figura 7.

Análisis de fuerzas

La bola se encuentra suspendida (figura 7) por acción de la fuerza eléctrica producida por las cargas eléctricas del generador.

Para este caso se hace el análisis de fuerzas.

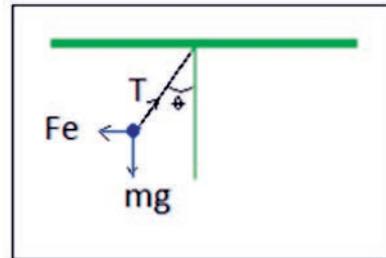


Figura 8.

$$T \cos(\theta) = mg$$

$$T \sin(\theta) = Fe$$

Por lo tanto:

$$Fe = mg \cdot \tan(\theta)$$

Los valores obtenidos en la experimentación se presentan a continuación (tabla 3).

Tabla 3
Generador de Van de Graaff

r(m)	$\theta(^{\circ})$	F(N)
0,06	1,5	0,0000721
0,07	1,2	0,0000479
0,08	1,1	0,0000359
0,09	1	0,0000299
0,1	0,8	0,0000239

$m = 0,06 \text{ kg}$ $L = 0,05 \text{ m}$
L: longitud de la cuerda

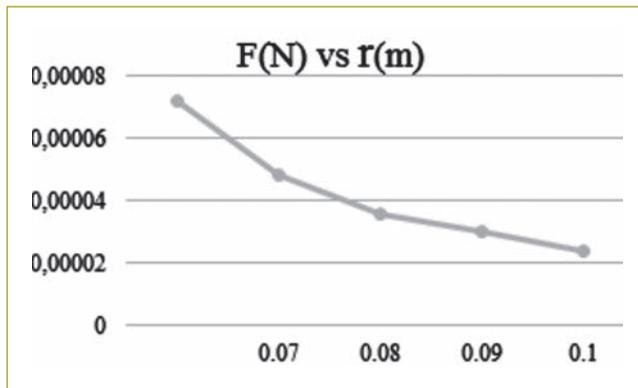


Figura 9. Gráfico de F vs. r .

En este gráfico se observa que existe una relación inversa entre la fuerza y la distancia de separación entre las cargas eléctricas (figura 9).

CONCLUSIONES

- Los resultados para la evaluación por proyectos indican cambios significativos entre las evaluaciones antes (Eva. 1) y después (Eva. 3) de aplicar la estrategia pedagógica. Los cambios se midieron por la ganancia para los diferentes criterios de evaluación.
- Los estudiantes de los grupos de electromagnetismo a quienes se les aplicó las pruebas se ubican en un rango alto (0,7 a 1).
- Los resultados muestran para la evaluación conceptual ganancias en un rango medio (de 0,3 a 0,7), para los estudiantes en mención. De esta manera, se comprueba la hipótesis planteada acerca de que la

metodología empleada en este trabajo presenta una ganancia respecto a la instrucción tradicional, donde se obtuvo un rango de ganancia bajo (entre 0 y 0,3).

- Los estudiantes trabajaron activamente en la ejecución de los proyectos.
- Pudieron establecer un proceso de observación y validación con los prototipos desarrollados, aunque el estudio de las curvas cinemáticas les genere, en principio, dificultad y confusión.
- Reconocieron variables y constantes entre los modelos físicos involucrados con los prototipos.
- Usaron la teoría de error y el análisis gráfico, pero se observan dificultades en la metodología de linealización de datos y los modelos no lineales.
- Reconocieron que los temas de electrostática no son sencillos, pero destacan que el contexto en el que se desarrollan los proyectos permite tener una mejor profundización conceptual.
- Manifestaron que las presentaciones orales y escritas, así como el diseño y construcción del prototipo, son de gran importancia, ya que los prepara dentro de su quehacer cotidiano como estudiantes de ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ausubel, D., Hanesian, H. & Novak, J. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo* (2.ª ed.) México: Editorial Trillas.
2. Hernández, C. (2004). Aprendizaje de la física en estudiantes de diseño industrial dentro de una innovación pedagógica consistente en el constructivismo. Tesis de maestría en educación. Bogotá: Uniandes.
3. Piaget, J. (1969). *Psicología*. España: Editorial Ariel.

REVISTA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Alcance y política

El objetivo de la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* es difundir artículos técnicos que contribuyan al desarrollo del país a través de una publicación con alta calidad editorial y rigor científico.

La revista acepta prioritariamente los siguientes tipos de trabajos, que le permiten mantener su categorización:

1. **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.
2. **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.
3. **Artículo de revisión.** Documento producto de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los 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.

También admite artículos de las siguientes tipologías:

4. **Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren una pronta difusión.
5. **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.
6. **Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

Cabe destacar que se privilegian para la revista los tipos de artículos de los numerales 1, 2 y 3.

La revista circula trimestralmente y recibe sólo artículos inéditos. Los trabajos recibidos se someten al concepto de pares académicos y del Consejo Editorial.

Requisitos para la publicación de artículos

Los artículos presentados a la revista deben remitirse por correo electrónico a revista@escuelaing.edu.co, adjuntando los siguientes formatos debidamente diligenciados: autor.doc, clasificación.doc y tipo.doc, cuyos archivos se pueden descargar de <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. En este mismo sitio está disponible la plantilla guía que contiene la estructura determinada por la revista para los artículos.

Scope and policy

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería disseminates technology articles helping to our country development. It emphasises on its high quality print and its scientific rigour. Articles submitted for publication shall be classified into one of the following categories— which allow it keeps its indexation:

1. **Scientific and technological research article.** These documents offer a detailed description about the original findings of research projects. In general, the usually used structure contains four important sections: introduction, methodology, results and conclusions.
2. **Reflection article.** These documents present the results of a research project on a specific, interpretative, or critical view by the author about a particular topic by using original sources.
3. **Review.** A document resulting from a finished research, where the published and/or unpublished findings of investigation in a particular field of science or technology are analysed, systematised and integrated to report the progress and the development tendencies. These documents include a careful bibliographic review.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería also accepts the following types of articles:

4. **Short article.** A brief text presenting the original, preliminary and/or partial results of a scientific or technological study, which normally need to be disseminated as quickly as possible.
5. **Case report.** A document that presents the results of a study on a specific situation in order to report the technical and methodological experiences considered in a particular case.
6. **Thematic review.** These documents are the product of a critical review of literature on a particular topic.

Our revista privilege articles as the highlight ones in numbers 1, 2 and 3.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería is a quarterly publication that only accepts unpublished articles. The revista submits all the papers to the verdict of two academic peers, who evaluate the article.

Ruling for publication

The article must be sent by e-mail to revista@escuelaing.edu.co with 3 files attached: Author.doc, Classification.doc and Type.doc available in <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. There is also a template guide for the structure of the article (template guide.doc).



Entregando lo mejor de los **colombianos**

Línea de atención al Cliente Nacional: 01 8000 111 210
Línea de atención al Cliente Bogotá: (57-1) 4199299

► www.472.com.co