



UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
BOGOTÁ • MEDIELLÉN • CALI • CARTAGENA

Ingenierías USBmed



Volumen 8, No 1. Enero – Junio 2017. ISSN 2027-5846

ISSN: 2027-5846

Volumen 8, No. 1, Enero-Junio 2017

Dirección: Luis Alberto Tafur Jimenez

Edición: Claudia Elena Durango Vanegas

Traducción: Gustavo A. Meneses B.

Comité editorial

| | |
|------------------------------------|---|
| Claudia Elena Durango Vanegas | Universidad de San Buenaventura, Medellín |
| Dario Enrique Soto Durán | Tecnológico de Antioquia |
| Fabio Alberto Vargas Agudelo | Tecnológico de Antioquia |
| Germán Mauricio Valencia Hernández | Universidad de Medellín |
| Hermenegildo Gil Gómez | Universidad Politécnica de Valencia, España |
| Jeniffer Victoria Torres R. | Universidad de Alicante-España |
| John Fernando Escobar Martínez | Politécnico Jaime Isaza Cadavid |
| Jovani A. Jiménez B. | Universidad Nacional de Colombia |
| Julian Andres Zapata Cortés | Universidad de San Buenaventura, Medellín |
| Raul Francisco Oltra Badenes | Universidad Politécnica de Valencia, España |

Comité científico

| | |
|------------------------------------|---|
| Conrado A. Serna U. | Universidad de San Buenaventura, Medellín |
| Daniel Fernández Comesaña | Microflown Technologies, Holanda |
| Diego Mauricio Murillo Gómez | University of Southampton |
| Germán Mauricio Valencia Hernández | Universidad de Medellín |
| Juan Camilo Giraldo Mejía | Tecnológico de Antioquia |
| Libardo Londoño Ciro | Politécnico Jaime Isaza Cadavid |

Universidad de San Buenaventura Medellín

Facultad de Ingenierías

Campus Universitario: Calle 45 61-40. Barrio Salento, Bello / Sede Centro: Cra. 56C 51-110. San Benito, Medellín

Teléfono: +(57 4) 514 56 00 A.A.: 5222 / 7370

ingenierias.usbmed@usb.edu.co

Derechos

Creative Commons – Open Journal Systems

Los autores son responsables de los contenidos y opiniones
La Revista se reserva el derecho de edición, publicación, distribución y divulgación.

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| Editorial | 4 |
| Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido | 7 |
| Arquitectura para la Automatización del Proceso de Carga de Información Geográfica Exigida en los Informes de Cumplimiento Ambiental -Ica- : Caso de Estudio Colombia | 12 |
| Procesos de Geoprocesamiento en la Espacialización de Servicios Ecosistémicos en Áreas de Interés Local, Caso de Estudio: Cuenca la Presidenta | 19 |
| Formulación de Funciones de Costo de Incertidumbre en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas dentro de una Microgrid | 29 |
| Producción de Bioetanol a partir de <i>Elodea sp.</i> | 37 |
| Propuesta de Flipped Classroom para el desarrollo de las competencias genéricas en estudiantes de ingeniería | 43 |
| Aplicación de Dispositivos Móviles en la Medición de los Niveles de Radiación Ultravioleta y su Validación en el Distrito de Chulucanas Región Piura Perú | 49 |
| Resolución espacial en la elaboración de mapas de ruido por interpolación | 56 |
| Aplicación de los ejes de Schwartz como metodología de prospectiva tecnológica al modelo universitario-empresa en el contexto colombiano | 63 |
| Necesidad de reconocimiento y síndrome de selfie: un análisis relacional basado en minería de datos | 71 |

Editorial

El camino de la innovación educativa y su encuentro con las ingenierías

Agustín Lagunes Domínguez, Ph.D

aglagunes@uv.mx

Universidad Veracruzana, Facultad de Contaduría y Administración Campus Ixtac.
Ixtaczoquitlán, Veracruz, México.

A lo largo de la historia la educación y las ingenierías han vivido un camino entrelazado, aunque en muchas ocasiones pareciera que esto no es así. La educación ha aportado mucho a las ingenierías y viceversa. Al inicio la relación de la educación y las ingenierías no era tan cercana, si recordamos la enseñanza basada en contenidos y la enseñanza por objetivos, existía un abismo entro lo que se enseñaba en clase y lo que sucedía en el mundo de la ingeniería.

En el enfoque basado en contenidos, los profesores en el aula establecían una serie de temas a tratar siendo en su mayoría teóricos y procedimentales. Esto era difícil tanto para el estudiante como para el profesor, ya que priorizaba el aprendizaje memorístico [1]. Posterior a esto, se cambió a la enseñanza por objetivos, donde se establecía al inicio del curso un objetivo a alcanzar durante una experiencia educativa. Se puede decir que estas formas de enseñar tenían dos problemas, el primero es que desarrollaban un aprendizaje a corto plazo y no un aprendizaje para toda la vida, el segundo se refiere a que generaban una brecha enorme entre la universidad y la vida profesional del ingeniero, mientras la escuela exigía que se aprendieran las cosas de memoria, la empresa les solicitaba que “supieran hacer las cosas”.

Debido a esta brecha, se cambió el enfoque, mientras que anteriormente era orientado hacia la enseñanza, ahora se orientó hacia el aprendizaje y es así como surge el aprendizaje basado en competencias, el cual, no solo se orienta a los conocimientos, sino también a las habilidades y valores de los estudiantes [2]. La ventaja de las competencias es que se centra en la demostración de los resultados de aprendizaje, de esta forma se reduce un poco la brecha entre universidad y mundo real.

El enfoque basado en competencias debe ser reforzado por metodologías y estrategias didácticas, de esta manera tendrán mayores probabilidades de éxito. Por lo anterior, analizaremos ambas para contextualizar su apoyo a las ingenierías.

Una metodología didáctica se refiere a seleccionar y organizar actividades, recursos y tiempos que permitan alcanzar los objetivos establecidos en las estrategias didácticas [3].

Las metodologías aplicadas comúnmente en ingeniería son dos, aprendizaje basado en problemas la cual, como forma del trabajo metodológico, es uno de los

métodos de enseñanza-aprendizaje que ha tomado más arraigo en las instituciones de educación superior en los últimos años [4].

En ingeniería es común que los profesores pidan a los estudiantes que resuelvan problemas, ya sea de forma individual o de forma grupal, esto se aplica en ingeniería en sistemas, industrial y muchas más [5].

El aprendizaje basado en problemas ha permitido a los ingenieros desarrollar su lógica, aplicar el razonamiento y, sobre todo, resolver problemas del campo laboral. Es por ello que se dice que en esta forma de trabajar el estudiante es el protagonista de su propio aprendizaje, ya no es el receptor pasivo, ahora es el actor principal de su aprendizaje.

La segunda forma en que trabajan los profesores en ingeniería es mediante el aprendizaje basado en proyectos, aquí el estudiante se siente tomado en cuenta, es el centro del aprendizaje, el trabajo del proyecto es central y no algo fuera de su curriculum, requiere el uso de herramientas y destrezas esenciales, como el uso de la tecnología para el aprendizaje, la autogestión y la gestión de proyectos, entre otras [6].

Aprender mediante proyectos en ingeniería es fundamental para reducir la brecha entre universidad y empresa, por ello, los ingenieros de todas las áreas aprenden mejor de esta manera y es utilizado en muchas universidades del mundo [7].

Una vez analizadas las metodologías de trabajo didáctico es necesario analizar las principales estrategias didácticas que vinculan a la docencia y con la ingeniería.

La estrategia didáctica es la planificación del proceso enseñanza – aprendizaje, comprende la definición de objetivos, la selección de métodos didácticos, las actividades, la planeación de los recursos y la forma de evaluación del proceso formativo [3].

Las dos estrategias didácticas más recomendables en ingenierías se explican a continuación.

El Blended Learning suele ser visto como una modalidad lo cual es una visión muy acotada, bajo esta óptica con el hecho de subir materiales a la plataforma y comentar las actividades en clases presenciales se está cumpliendo con esta visión. Blended Learning es más que eso, es una estrategia, de esta manera se establece el proceso enseñanza – aprendizaje, se elige el método

didáctico más adecuado, los materiales y las actividades que permitan aprovechar las TIC y también el contacto cara a cara con el profesor [8].

Existen tres ventajas principales que ofrece el Blended Learning a los estudiantes de ingenierías, sirve a diversas comunidades, reduce el tiempo de su graduación y se conoce mejor el progreso de los estudiantes [9].

La primera ventaja es servir a los estudiantes de ingeniería de diversas comunidades, esto se puede enfocar en dos sentidos, el primero tomando comunidad como un espacio territorial, en esta concepción se puede atender a estudiantes de comunidades lejanas de manera virtual y programar algunas sesiones presenciales para reforzar el aprendizaje. Otra concepción es en cuanto a su nivel académico, cuando los estudiantes llegan a la universidad sus conocimientos y habilidades son heterogéneos. Así también, traen diferentes formas y estilos de aprendizaje.

Para ello, el Blended Learning ofrece nuevas formas de personalizar la experiencia de aprendizaje, ofrece materiales que permiten que aprendan mediante cualquier modo de aprendizaje, ya sea leyendo, viendo, escuchando, mirando y haciendo o por las enseñanzas presenciales del profesor.

En cuanto a reducir el tiempo de graduación, los estudiantes de ingeniería pueden ir a su propio ritmo, adelantar experiencias educativas que les permitan terminar antes su pregrado.

A menudo, las universidades ofrecen cursos en horarios que pueden ser un inconveniente para los estudiantes, creando cuellos de botella para que ellos puedan terminar su pregrado, especialmente en los cursos en los cuales hay mucha demanda. Es aquí donde el Blended Learning da flexibilidad al horario y a los espacios y ayuda a la graduación en menos tiempo.

En cuanto a la última ventaja, conocer mejor el progreso del estudiante, una de las desventajas de la modalidad presencial es que los profesores no llevan un adecuado seguimiento de cada estudiante, primero porque en ocasiones los grupos son grandes, en otras, porque no utilizan herramientas y mecanismos que los ayuden para tal seguimiento.

Cuando se utiliza la estrategia del Blended Learning la plataforma permite la recogida de datos detallados sobre la actividad de los estudiantes y el comportamiento de aprendizaje en el entorno en línea.

La disponibilidad de estos datos ayuda en dos aspectos clave para los pregrados, para mejorar la calidad y mejorar los resultados de los estudiantes.

En primer lugar, los profesores pueden identificar a quienes se están atrasando, esto puede servir para ayudar a estudiantes en riesgo de fracaso o abandono. En segundo lugar, las instituciones tienen la oportunidad de evaluar la calidad del aprendizaje a través del análisis

de la planeación, las actividades y trayectoria escolar de los estudiantes para su mejora continua.

En pocas palabras, el Blended Learning permite la planeación, ejecución y retroalimentación del proceso enseñanza – aprendizaje mediante una estrategia bimodal para la mejora de la educación.

La segunda estrategia es el Flipped Classroom la cual se puede decir que es la versión 2.0 del Blended Learning, utiliza las mismas estrategias y adicional incorpora otras que le permiten tener mayor efectividad en el proceso enseñanza – aprendizaje.

Hay autores que definen de manera muy sencilla lo que es el Flipped Classroom indicando que se refiere a realizar en casa lo que se hacía en el aula y viceversa [10].

Esta definición se queda corta, el Flipped Classroom es una estrategia que permite desarrollar las competencias genéricas de los estudiantes de ingeniería [11], entre ellas las *personales*, como compromiso ético, trabajo en equipo y capacidad crítica y autocrítica. También las *sistemáticas* como la capacidad de adaptarse a nuevas situaciones, motivación por la calidad y la capacidad de aprender o aprendizaje autónomo. El tercer grupo de competencias que se generan son las *instrumentales*, como la capacidad de análisis y síntesis, resolución de problemas y la capacidad de organización y planificación.

El uso de esta estrategia en las ingenierías tiene una serie de ventajas teniendo como principales las siguientes tres.

1. Este paradigma está diseñado para que el estudiante desarrolle las competencias genéricas de los ingenieros de manera más eficiente.

2. En esta estrategia hay una mejor planeación. Desde el inicio se planean las preclases (lo que tiene que realizar el estudiante de pregrado antes de su clase) y las actividades en clase que le permitirán reflexionar y discutir con el profesor sobre las dudas y aportaciones sobre el tema.

3. Mayor preparación del profesor. El Flipped Classroom exige una mayor expertiz del profesor, en el modelo actual un profesor podría dictar clase sin saber del tema, solo proporcionando apuntes a los estudiantes. En el Flipped Classroom el estudiante se prepara en casa antes de la clase y trae dudas y comentarios concretos para el profesor, lo cual exige del profesor un mayor dominio del tema que enseña.

Es así como con la revisión de las metodologías y las estrategias didácticas, se demuestra que la educación cada día influye más en las ingenierías, quedando aún pendiente la pregunta ¿cómo han influido las ingenierías en la educación?.

La respuesta es muy concreta, las herramientas que hoy se utilizan en el aula fueron creadas por ingenieros, en 1840 el profesor de Geografía James Pillans puso el primer pizarrón en la pared para explicar a sus

estudiantes. Posterior a ello, en los años 50 se crea el pizarrón blanco y a partir del año 2000 los ingenieros en sistemas desarrollan el pizarrón electrónico [12].

Otras aportaciones son los portaacetatos, iniciando como acetatos en 1865 con Schützenberger hasta convertirse en proyectores de acetatos muchos años después [13].

Una herramienta hasta hoy valiosa en educación es la computadora, la cual en su origen fue ordenada por la marina estadounidense a ingenieros de IBM y de la Universidad de Harvard creando primero la MARK I y posteriormente la ENIAC [14]. Así comienza la historia de las computadoras y las ventajas que ofrece a la educación, de las cuales todos somos sabedores.

Es innegable que una de las herramientas más importantes en la historia del mundo y de la educación es internet. Inició en 1958 como ARPANET, en 1972 sale al mundo y es cuando se puede decir que inicia internet, a principios de los ochenta se convierte en www [15]. Al día de hoy internet soporta una serie de herramientas para la educación como navegadores, buscadores, bases de datos de revistas y otros.

Finalmente, analizaremos la última herramienta, las plataformas educativas, estas son desarrollos informáticos que buscan representar la acción educativa en su conjunto, que incluye la creación y gestión de los contenidos educativos a través de diferentes herramientas presentadas en un mismo ambiente educativo [16].

Las herramientas dentro de las plataformas educativas pueden ser chat, foro, aula virtual, entre otras, las cuales pueden formar un micromundo de aprendizaje para el estudiante y personalizarlo de acuerdo a sus necesidades, competencias y preferencias, esta es la importancia de las plataformas educativas en educación.

Con todo lo anterior se puede concluir que la educación y las ingenierías han entrelazado sus caminos desde sus inicios y que cada día existe una conexión más fuerte entre ellas, la educación ha influido en las ingenierías y estas últimas han contribuido para que la educación cada día sea más innovadora y efectiva.

1. Referencias

- [1] S. García-Barros y C. Martínez-Losada, «Enseñar a enseñar contenidos procedimentales es difícil,» Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado, pp. 79-99, 2003.
- [2] SEP, «Enfoque centrado en Competencias,» 2012. [En línea]. Available: http://www.dgespe.sep.gob.mx/reforma_curricular/planes/lepri/plan_d_e_estudios/enfoque_centrado_competencias. [Último acceso: 21 Enero 2017].
- [3] W. Montenegro-Velandia, A. Cano-Arroyave, I. Toro-Jaramillo, J. Arango-Benjumea, C. Montoya-Agudelo, J. Vahos-Correa, P. Pérez-Villa y B. Coronado-Río, «Estrategias y metodologías didácticas, una mirada desde su aplicación en los programas de Administración,» Educ. Educ., vol. 19, n° 2, pp. 205-220, 2016.
- [4] L. Fernández-Lora y S. Fonseca-Montoya, «Aprendizaje basado en problemas: consideraciones para los graduados en medicina familiar y comunitaria en Ecuador,» MEDISAN, vol. 20, n° 9, pp. 4000-4013, 2016.
- [5] J. Planella, L. Escoda y J. Suñol, «Análisis de una experiencia de aprendizaje basado en problemas en la asignatura de Fundamentos de Física,» Revista de Docencia Universitaria, n° 3, pp. 1-16, 2009.
- [6] O. Zajkov y B. Mitrevski, «Project-Based Learning: Dilemmas and Questions!,» Macedonian Physics Teacher, vol. 48, pp. 1-11, 2012.
- [7] T. M. Pina Desfilis, E. Aguilar Fenollosa, G. Camañes Querol, A. I. Marqués Marzal, A. M. Rodríguez-Sánchez, E. Fernández Crespo, E. Llorens Vilarrocha, L. Scalschi, M. J. Máñez Pitarch, J. A. Jacas Miret, B. Vicedo y L. Lapeña, «Utilización de Aprendizaje Basado en Proyectos en la coordinación de asignaturas en el Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural,» Revista de Docencia Universitaria, vol. 13, n° 3, pp. 265-287, 2015.
- [8] A. M. d. G. Arras Vota, C. A. Torres Gastelú y L. E. Fierro Murga, Competencias en TIC y rendimiento académico en las universidades Autónoma de Chihuahua y Veracruzana, Pearson, 2012, p. 123.
- [9] C. Bonk y C. Graham, The Handbook of Blended Learning, San Francisco: Pfeiffer, 2006, p. 585.
- [10] M. Lage, G. Platt y M. Treglia, «Inverting the Classroom: A Gateway to Creating an Inclusive Learning Environment,» The Journal of Economic Education, vol. 31, n° 1, pp. 30-43, 2000.
- [11] W. Wulf, «Changing nature of engineering,» 1997. [En línea]. Available: <http://www.nae.edu/nae/bridgecom.nsf/weblinks/NAEW-4NHMBD?OpenDocument>. [Último acceso: 2015].
- [12] UNIÓN, «Una piedra que se convirtió en pizarrón,» 29 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.unioncancun.mx/articulo/2016/11/29/educacion/la-interesante-historia-del-pizarron-escolar>. [Último acceso: 26 Enero 2017].
- [13] Universidad de Valladolid, «Escuela de Ingenierías Industriales,» 2015. [En línea]. Available: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/acetato/origen_historico.htm. [Último acceso: 26 Enero 2017].
- [14] A. C. «Los hacedores de la historia, las computadoras,» Rev Fac Med, vol. 45, n° 4, pp. 176-180, 202.
- [15] Universidad Politécnica de Cataluña, «Retroinformática,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.fib.upc.edu/retro-informatica/historia/internet.html>. [Último acceso: 26 Enero 2017].
- [16] M. V.-L. N. N.-C. y F. D.-O., «Plataformas didácticas como tecnología educativa,» Educación Médica Superior, vol. 23, n° 4, pp. 261-271, 2009.

Diseño de un modelo de programación lineal para la planeación de producción en un cultivo de fresa, según factores costo/beneficio y capacidades productivas en un periodo temporal definido

Daniel Sánchez Pineda

Docente - Programa de Ingeniería Industrial
Universidad Militar Nueva Granada
tmp.daniel.sanchez@unimilitar.edu.co

Natalia Ramírez Torres

Docente - Programa de Ingeniería Industrial
Universidad Militar Nueva Granada
natalia.ramirez@unimilitar.edu.co

(Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica. Recibido el 12/07/2016. Aprobado el 07/09/2016)

Resumen. El sector hortifrutícola es considerado como una de las vías de ingreso de la población colombiana. Actualmente el departamento de Cundinamarca se destaca como el mayor productor de fresa, con una participación del 63,4% en la producción nacional. La fresa, conocida en el ámbito científico como *fragaria vesca*, presenta alto consumo gracias a las cualidades de aroma, color y acidez que presenta. La planta de la fresa, se caracteriza por ser perenne, al formar nuevos tallos de forma constante. Un cultivo de fresa, presenta una duración promedio de dos años, seccionados en etapas de funcionamiento. Son escasas las metodologías, que permitan generar una planeación de la producción a nivel frutícola, teniendo en cuenta el comportamiento colombiano. Es por ello que el estudio desarrollado incluye una propuesta de diseño para la planeación de la producción de fresa; teniendo en cuenta factores de costo/beneficio en un cultivo; a partir de programación lineal. Se muestra la formulación matemática y una verificación teórica de su funcionamiento y se evidencia el modelo a nivel teórico es funcional, permitiendo establecer un sistema de verificación de capacidades productivas, de acuerdo a parámetros de entrada específicos.

Palabras clave. Capacidades productivas, costo/beneficio, cultivo de fresa, modelo de programación lineal, planeación de producción.

Linear programming model design for production planning in a strawberry crop, according to cost / benefit factor and productive capacity in a temporary period defined

Abstract. *Today, the fruit and vegetable sector is considered as one of the main entry routes for much of the Colombian population. Among the featured products, the strawberry production level in Colombia, has domestic consumption and industrial processing as the main destination. Currently the department of Cundinamarca stands out as the largest producer of strawberry, with a share of 63.4% in domestic production. Strawberry, known in the scientific area as *Fragaria vesca*, has high consumption thanks to the qualities of aroma, color and acidity that presents. The strawberry plant is characterized as being perennial, to form new stems steadily. A strawberry crop, has an average duration of two years, sectioned operating stages, the first stage known as stage vegetative character, includes the development of plants planted, the second stage is the first production stage of the crop, followed by a stage of pruning and renewal. The fourth and fifth stage corresponding to the second production stage and pruning and final renewal of useful cultivation period. From the exposed production conditions, they are scarce methodologies that allow generating a production planning for fruit and vegetable sector, taking into account the Colombian behavior. That is why the study developed includes a design proposal for planning strawberry production; taking into account factors of cost / benefit in culture; from linear programming. The mathematical formulation and theoretical verification of performance is shown and the evidence that the theoretical model is functional, allowing to establish a system for production capacity verification, according to specific input parameters.*

Keywords. *Cost/benefit, linear programming model, production planning, productive capacity, strawberry crop.*

1. Introducción

Hoy en día el sector hortifrutícola se considera como una de las principales vías de ingreso para gran parte de la población colombiana. Entre los productos destacados, la fresa a nivel productivo en Colombia, tiene como destino principal el consumo nacional y la transformación industrial. En el año 2011 se registró un total de 1135 hectáreas cultivadas, que en proporción representaron una producción aproximada de 45203 t. Actualmente el departamento de Cundinamarca se destaca como el mayor productor de fresa, con una participación del 63,4% en la producción nacional. El plan frutícola nacional, incluye una propuesta del incremento de las áreas sembradas para la producción de fresa, en un 380% con el fin de generar niveles de exportación. La fresa, conocida en el ámbito científico como *fragaria vesca*, presenta alto consumo gracias a las cualidades de aroma, color y acidez que presenta. La planta de la fresa, se caracteriza por ser perenne, al formar nuevos tallos de forma constante. Su crecimiento, se encuentra sujeto a las condiciones de luz y temperatura, por lo que se estima que la altitud adecuada para su producción se establece entre 1300 y 2000 m. Germina en suelos profundos francos o franco arenosos, manteniendo un pH entre 6 y 7 unidades. Debe ubicarse en los primeros 15 cm del suelo. Un cultivo de fresa, presenta una duración promedio de 2 años, seccionados en etapas de funcionamiento, la primera etapa conocida como etapa de carácter vegetativo, cuya duración promedio es de 4 a 6 meses; de acuerdo al tipo de *fragaria* a cultivar; incluye el desarrollo de las plantas sembradas. La siembra se recomienda a través del proceso a través de macrotúneles, teniendo en cuenta que ha sido implementado en sistemas productivos tecnificados, generando ventajas como la reducción de la generación de lixiviados, provenientes de los fertilizantes, así como en la inversión realizada en pesticidas y el control de incremento de la temperatura [1,2].

La segunda etapa denominada como etapa productiva, con una duración aproximada de 7 meses, corresponde a la producción del falso fruto para recolección, donde se indica que, por planta sembrada, se generarán en promedio 1,4 kg de fresas. La primera sesión productiva se cataloga como la de mayor rendimiento en el cultivo. Posteriormente la tercera etapa corresponde a la poda y renovación de cultivo; con una duración promedio de 2 meses; que se incluye como un paso requerido de mantenimiento en el cultivo, que permite verificar las condiciones de las plantas. La cuarta etapa, corresponde a la segunda sesión de producción; cuya duración es de 7 meses de igual forma; donde la producción promedio por planta disminuye a 0,6 kg de fresas por planta sembrada. Finalmente se realiza una poda y renovación para finalizar el periodo útil del cultivo [3, 4].

A partir de las condiciones productivas expuestas, son escasas las metodologías, que permitan generar una planeación de la producción a nivel frutícola, teniendo en

cuenta el comportamiento colombiano. Es por ello que el estudio desarrollado incluye una propuesta de diseño para la planeación de la producción de fresa; teniendo en cuenta factores de costo/beneficio en un cultivo; a partir de programación lineal, con el objetivo de identificar capacidades productivas respecto a las etapas de cultivo y su relación con la sostenibilidad esperada. Se muestra la formulación matemática y una verificación teórica de su funcionamiento. El presente artículo surge como producto derivado del proyecto de investigación INV_ING_1915 de la Universidad Militar Nueva Granada.

2. Estado del arte

Tras la introducción, se presentan los aspectos relevantes asociados a la producción de fresa, desde sus características, al condicionamiento en el territorio colombiano.

2.1 Características en la producción de fresa

La fresa, conocida en el ámbito científico como *fragaria vesca*, presenta alto consumo a nivel mundial, gracias a las cualidades de aroma, color y acidez que presenta. La planta de la fresa, se caracteriza por ser perenne, al formar nuevos tallos de forma constante. Su crecimiento, se encuentra sujeto a las condiciones de luz y temperatura, por lo que se estima que la altitud adecuada para su producción se establece entre 1300 y 2000 m. Germina en suelos profundos francos o franco arenosos, manteniendo un pH entre 6 y 7 unidades. Debe ubicarse en los primeros 15 cm del suelo. Adicionalmente, previo al proceso de producción, debe llevarse a cabo la etapa de desinfección, para mitigar la presencia de hongos, ácaros, hierbas, parásitos e insectos. Su producción, puede efectuarse de dos formas, a campo abierto o macrotúneles [5, 6].

La producción a campo abierto, presenta una gran desventaja, teniendo en cuenta que el cultivo cuenta con limitaciones bióticas, por lo que se encuentra expuesto a pueden presentarse plagas, ácaros y larvas. Adicionalmente, en relación a las restricciones abióticas, las condiciones climáticas adversas, los vientos, heladas y altas precipitaciones [7].

El proceso a través de macrotúneles, ha sido implementado en sistemas productivos tecnificados, generando ventajas como la reducción de la generación de lixiviados, provenientes de los fertilizantes, así como en la inversión realizada en pesticidas, incremento de la temperatura. El sistema agronómico característico de este proceso, se compone de tres etapas principalmente: vivero, instalación del cultivo, mantenimiento y cosecha. Inicialmente, se implementan eras con un ancho entre 70 y 80 cm, de altura 20 cm. En cada una de las eras se procede a implementar dos hileras, separadas 40 cm entre ellas. Posteriormente, las eras deben ser cubiertas con polietileno de color negro, cuya característica de grosor varía entre 0,2 a 0,4 mm; estableciendo un aislamiento del suelo, reduciendo de esta forma los problemas fitosanitarios, crecimiento de

maleza y aumentando la retención de humedad y temperatura [8, 9].

Los sistemas de riego, pueden ser por aspersión o por goteo, siendo este último el de mayor implementación, manteniendo salidas de agua cada 25 cm. Después de su recolección, las fresas deben ubicarse en cámaras frías, considerando que, a temperatura ambiente, se deteriora 80% en 8 horas. El proceso de selección, se encuentra condicionado al tamaño, grado de maduración, uniformidad y nivel de sanidad del fruto [10].

3. Métodos y materiales

El estudio derivado del proyecto de investigación INV_ING_1915, de la facultad de ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada – UMNG sede Calle 100, se realizó con el objetivo de diseñar un modelo de programación lineal, cuyo objetivo es la identificación de capacidades productivas respecto a las etapas de cultivo y su relación con la sostenibilidad esperada en un sistema de tipo macrotúneles. Este modelo se estableció a partir de fuentes de información secundaria, relacionada al comportamiento del cultivo a nivel Colombia, orientado específicamente al departamento de Cundinamarca.

El diseño del modelo, se basa en el análisis productivo de cultivo de fresa, cuya duración promedio respecto a vida útil es de 2 años; a pesar de que se afirma que es un cultivo perenne; seccionados en etapas de funcionamiento. La primera etapa conocida como etapa de carácter vegetativo, cuya duración promedio es de 4 a 6 meses; de acuerdo al tipo de *fragaria* a cultivar; incluye el desarrollo de las plantas sembradas, donde se realiza la adecuación del terreno, ubicación de sistemas de riego y construcción de las hileras de macrotúneles. El sistema de macrotúneles es recomendado teniendo en cuenta que ha sido implementado en sistemas productivos tecnificados, permitiendo generar ventajas como la reducción de la generación de lixiviados, provenientes de los fertilizantes, así como en la inversión realizada en pesticidas y el control de incremento de la temperatura. Para la siembra se establece un promedio de ubicación de 4 plantas por cada metro cuadrado disponible en una hilera de macrotúnel [3].

La segunda etapa denominada como etapa productiva, cuya duración aproximada de 7 meses en terreno colombiano, corresponde a la producción del falso fruto para recolección, donde se indica que, por planta sembrada, se generarán en promedio 1,4 kg de fresas, durante el total del primer periodo productivo. La primera sesión productiva se cataloga como la de mayor rendimiento en el cultivo; definiendo que durante los primeros 3 meses se genera el 60% de la producción, durante los 2 meses posteriores el 25% y en los 2 meses finales el 15% de la producción. Posteriormente la tercera etapa corresponde a la poda y renovación de cultivo; con una duración promedio de 2 meses; que se incluye como un paso requerido de mantenimiento en el cultivo, que permite verificar las condiciones de las

plantas, realizar la limpieza y retiro de plantas no requeridas, el control de plagas y la verificación del estado de los sistemas de riego y macrotúneles. La cuarta etapa, corresponde a la segunda sesión de producción; cuya duración es de 7 meses de igual forma; donde la producción promedio por planta disminuye a 0,6 kg de fresas por planta sembrada, manteniendo el mismo comportamiento porcentual, respecto a la primera etapa. Finalmente se realiza una poda y renovación para finalizar el periodo útil del cultivo [11, 3].

Teniendo en cuenta las condiciones previamente descritas, a continuación, se presenta la descripción de la construcción del modelo [12].

3.1 Diseño del modelo

A continuación se presenta la primera sección del modelo correspondiente a los parámetros de ingreso, donde se debe definir el área disponible de cultivo en metros cuadrados, el precio de venta promedio por kg de fresa, la producción promedio de kg de fresa por planta en cada una de las etapas productivas de ecuaciones, el número de plantas a sembrar en cada 10000 metros cuadrados; o plantas por metro cuadrado; y los valores de costo de establecimiento; correspondiente a las actividades de construcción de los macrotúneles, contemplando costos de material y operativos; y costo de mantenimiento; asociado a las labores diarias de verificación; ambos valores contemplados en el periodo funcional del cultivo, correspondiente a dos años.

Parámetros de entrada

A_T = Área disponible para cultivo en metros cuadrados en un periodo de 2 años

PV_u = Precio de venta por unidad (kg) de fresa

TP_{e1} = Tasa de producción de kg de fresa por planta durante la etapa productiva 1

TP_{e2} = Tasa de producción de kg de fresa por planta durante la etapa productiva 2

DP = Densidad de plantas sembradas por metro cuadrado

CE_p = Costo de establecimiento por planta durante un periodo de planeación de 2 años

CM_p = Costo de mantenimiento por planta durante un periodo de planeación de 2 años

Las variables del modelo, orientadas a la definición de las cantidades de kg de fresa a recolectar, que dependerán de las definiciones de capacidad productiva del cultivo.

Variables de decisión

X_{ij} = Cantidad de kg de fresa recolectados en etapa i para el mes j

$$i = \begin{cases} 1 \text{ Etapa vegetativa} \\ 2 \text{ Etapa productiva 1} \\ 3 \text{ Etapa de poda y renovación 1} \\ 4 \text{ Etapa productiva 2} \\ 5 \text{ Etapa de poda y renovación 2} \end{cases}$$

$$j \begin{cases} \text{para } i = 1 \dots j = 1, \dots, 6 \\ \text{para } i = 2 \dots j = 1, \dots, 7 \\ \text{para } i = 3 \dots j = 1, 2 \\ \text{para } i = 4 \dots j = 1, \dots, 7 \\ \text{para } i = 5 \dots j = 1, 2 \end{cases}$$

La función objetivo; ecuación 1; se asocia a la maximización de la utilidad del cultivo, relacionada a las ventas esperadas del total de kg recolectados de fresa durante las etapas productivas y los costos totales de establecimiento y mantenimiento, relacionados con el total de plantas sembradas.

Función Objetivo

$$MAX Z = \sum_{j=1}^7 X_{2j} * PV_u + \sum_{j=1}^7 X_{4j} * PV_u - (DP * A_T * CE_P + DP * A_T * CM_P) \quad (1)$$

La función dependerá de 5 bloques de restricciones, el primero asociado a la producción en etapa vegetativa, teniendo en cuenta que no se genera ningún fruto durante los primeros 6 meses de producción. El segundo bloque, corresponde a la producción en las etapas de poda y renovación, teniendo en cuenta que en dichas etapas tampoco se genera producción. El tercer y cuarto bloque; ecuaciones 2 a 17; corresponden a las etapas productivas 1 y 2 respectivamente, donde la cantidad de kg de fresa a recolectar por mes, dependerá directamente de la capacidad definida de producción mensual, relacionada con el área disponible, el número de plantas sembradas y la producción esperada por planta, respecto al rendimiento. Se incluye adicionalmente una restricción de control de costos, donde se define que la sumatoria de las ventas esperadas de la primera etapa productiva, deben cubrir al menos un 59% del total de los costos correspondientes a los 2 años del cultivo. De la misma manera las ventas esperadas de la segunda etapa productiva, deben cubrir al menos un 49% de los costos totales. Esto se relaciona a los cambios de rendimiento presentes en las etapas.

Bloque de restricciones etapa vegetativa

$$X_{1j} = 0 \quad \forall j = 1, \dots, 6$$

Bloque de restricciones etapas de poda y renovación

$$X_{ij} = 0 \quad \forall i = 3, 5 \quad \forall j = 1, 2$$

Bloque de restricciones etapa productiva 1

$$X_{21} \leq 18\% * DP * A_T * TP_{e1} \quad (2)$$

$$X_{22} \leq 24\% * DP * A_T * TP_{e1} \quad (3)$$

$$X_{23} \leq 18\% * DP * A_T * TP_{e1} \quad (4)$$

$$X_{24} \leq 17\% * DP * A_T * TP_{e1} \quad (5)$$

$$X_{25} \leq 8\% * DP * A_T * TP_{e1} \quad (6)$$

$$X_{26} \leq 8\% * DP * A_T * TP_{e1} \quad (7)$$

$$X_{27} \leq 7\% * DP * A_T * TP_{e1} \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^7 X_{2j} * PV_u \geq 59\% * (DP * A_T * CE_P + DP * A_T * CM_P) \quad (9)$$

Bloque de restricciones etapa productiva 2

$$X_{41} \leq 18\% * DP * A_T * TP_{e2} \quad (10)$$

$$X_{42} \leq 24\% * DP * A_T * TP_{e2} \quad (11)$$

$$X_{43} \leq 18\% * DP * A_T * TP_{e2} \quad (12)$$

$$X_{44} \leq 17\% * DP * A_T * TP_{e2} \quad (13)$$

$$X_{45} \leq 8\% * DP * A_T * TP_{e2} \quad (14)$$

$$X_{46} \leq 8\% * DP * A_T * TP_{e2} \quad (15)$$

$$X_{47} \leq 7\% * DP * A_T * TP_{e2} \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^7 X_{4j} * PV_u \geq 41\% * (DP * A_T * CE_P + DP * A_T * CM_P) \quad (17)$$

El quinto bloque corresponde a la condición de no Negatividad presente en el sistema, para las variables de decisión.

No Negatividad

$$X_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (18)$$

4. Resultados

A partir del modelamiento planteado, se realiza una prueba de verificación del funcionamiento teórico del mismo, comprobando los resultados con el software GAMS. En la Tabla 1 se presentan los parámetros definidos para el caso.

A partir de los parámetros, se realiza la ejecución del modelo, cuyos resultados se pueden evidenciar en la Tabla 2.

A partir de los resultados evidenciados, se presenta el total de los costos y la maximización de la utilidad en la Tabla 3, de acuerdo al modelo.

Se evidencia, que el modelo a nivel teórico es funcional, permitiendo establecer un sistema de verificación de capacidades productivas de un cultivo de una hectárea, para 40.000 plantas sembradas, donde; con el supuesto de recolección en cada mes del total de la capacidad productiva, como ventas esperadas totales; se logra generar una utilidad del cultivo, en los 2 años de periodo de planeación, de \$ COP 72.000.0000.

Tabla 1. Parámetros para el modelo. Fuente: Autores

| | | |
|--|----|-----------|
| Área disponible (m ²) A _T | | 10.000,00 |
| Precio de venta promedio por kg PV _u | \$ | 1.800,00 |
| Producción kg/planta etapa 1 TP _{e1} | | 1,40 |
| Producción kg/planta etapa 2 TP _{e2} | | 0,60 |
| Plantas por cada 10.000 m ² DP | | 40.000,00 |
| Costo de establecimiento/planta CE _P | \$ | 1.000,00 |
| Costo de mantenimiento/planta CM _P | \$ | 800,00 |

Tabla 2. Resultados de cantidad de kg de fresa a recolectar por mes, según capacidad productiva. Fuente: autores

| | | |
|--------------------|--------|-------|
| ETAPA VEGETATIVA | MES 1 | 0 |
| | MES 2 | 0 |
| | MES 3 | 0 |
| | MES 4 | 0 |
| | MES 5 | 0 |
| | MES 6 | 0 |
| ETAPA PRODUCTIVA 1 | MES 7 | 10080 |
| | MES 8 | 13440 |
| | MES 9 | 10080 |
| | MES 10 | 9520 |
| | MES 11 | 4480 |
| | MES 12 | 4480 |
| | MES 13 | 3920 |
| PODA Y RENOVACIÓN | MES 14 | 0 |
| | MES 15 | 0 |
| ETAPA PRODUCTIVA 2 | MES 16 | 4320 |
| | MES 17 | 5760 |
| | MES 18 | 4320 |
| | MES 19 | 4080 |
| | MES 20 | 1920 |
| | MES 21 | 1920 |
| | MES 22 | 1680 |
| PODA Y RENOVACIÓN | MES 23 | 0 |
| | MES 24 | 0 |

Tabla 3. Costos y Función Objetivo. Fuente: Autores

| | | |
|---|----|----------------|
| Costo de establecimiento y mantenimiento (2 años) | \$ | 72.000.000,00 |
| Ventas generadas (2 años) | \$ | 144.000.000,00 |
| Función Objetivo (Maximizar utilidad) | \$ | 72.000.000,00 |

5. Conclusiones

Se observa que el desarrollo del presente artículo, abarco el diseño de un modelo para la planeación de la producción de fresa; teniendo en cuenta factores de costo/beneficio en un cultivo; a partir de programación lineal, con el objetivo de identificar capacidades productivas respecto a las etapas de cultivo y su relación con la sostenibilidad esperada. Se evidencia, que el modelo a nivel teórico es funcional, permitiendo establecer un sistema de verificación de capacidades productivas, de acuerdo a parámetros de entrada, para el mismo. Así mismo, se menciona, que el presente desarrollo, representa una sección del proyecto de investigación INV_ING_1915. Se señala que a futuro se espera desarrollar el establecimiento de escenarios, respecto a posibles comportamientos en el cultivo, que permitan identificar su efectividad.

6. Trabajos futuros

Es necesario resaltar, que el modelo se encuentra en su primera fase de desarrollo, a partir de un contexto teórico, por tal razón se exhorta o recomienda que futuras investigaciones se enfoquen, en la comprobación y aplicación experimental con el fin de ajustar o delimitar el modelo inicial.

7. Agradecimientos

Los autores reconocen las contribuciones y el apoyo brindado por la Universidad Militar Nueva Granada, teniendo en cuenta que el presente artículo es un producto derivado del proyecto de investigación INV_ING_1915 "Aplicación para dispositivos móviles para el manejo de la información en un cultivo de fresa".

8. Referencias

- [1] H. Sánchez Martín y A. Morales García, «Sistema de visión artificial para la inspección, selección y control de calidad de fresas», Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2009.
- [2] L. Calderón, D. Angulo, D. Rodríguez, C. Grijalba y M. Pérez, «Evaluación de materiales para el acolchado de la fresa cultivada bajo invernadero», Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2013.
- [3] Cámara de Comercio de Bogotá, «Manual Fresa», Cámara de Comercio de Bogotá - Núcleo Ambiental S.A.S, Bogotá, Colombia, 2015.
- [4] G. Herrera y L. Quintero, «Alternativas productivas para el sector agrícola de Sesquilé», Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia, 2012.
- [5] S. Rubio, A. Alfonso, C. Grijalba y M. Pérez, «Determinación de los costos de producción de la fresa cultivada a campo abierto y bajo macrotúnel», Revista colombiana de ciencias hortícolas, pp. 67-79, 2014.
- [6] Chaves, Ángela, Z. Lasso, M. Ruíz y O. Benavides, «Efecto de dos coberturas plásticas y tres láminas de agua en un cultivo de fresa», Revista de ciencias agrícolas, pp. 26-37, 2013.
- [7] P. Gavilán, N. Ruíz, J. Bohórquez, D. Lozano, L. Miranda y P. Domínguez, «Ahorro de agua en el cultivo de la fresa sin comprometer la producción», Vida rural, pp. 28-33, 2015.
- [8] A. M. Pastrana, «Incidencia y epidemiología de nuevos hongos patógenos de fresa en la provincia de Huelva», Universidad de Sevilla, Sevilla, 2014.
- [9] A. Infante, «Producción de plantas de fresa mediante cultivo sin suelo», Horticultura, pp. 92-93, 2008.
- [10] H. Alvarado, M. Tavera, G. Mena y G. Calderón, «Crecimiento y producción de fresa (fragaria x ANANASSA DUCH) en sustratos a base de compostas», Desarrollo sustentable y finanzas, pp. 50-63, 2014.
- [11] M. Bucheli, «Evaluación del impacto ambiental causado por el cultivo intensivo de fresa (Fragaria vesca) en la parroquia Huachi Granda, Cantón Ambato», Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2015.
- [12] K. M. Perea y O. R. Lopez, «Mejoramiento de la productividad mediante la reducción de costos en una línea manufacturera de arneses eléctricos», Ing. USBMed, Vol. 6, No. 1, enero-junio 2015, Medellín, Colombia, 2015

Arquitectura para la Automatización del Proceso de Carga de Información Geográfica Exigida en los Informes de Cumplimiento Ambiental -Ica- : Caso de Estudio Colombia

Juan Esteban Gómez Castañeda
Ingeniero Ambiental
Especialista SIG
Ing.jues.goca@gmail.com

Germán M. Valencia
Ingeniero Ambiental
Especialista SIG
german.valencia@usbmed.edu.co

Oscar Dario Quintero
Antropólogo
Especialista en Geoinformática
oscarespecializacion@gmail.com

(Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica. Recibido el 16/08/2016. Aprobado el 15/09/2016)

Resumen. En el presente artículo se presenta una arquitectura de software para integrar archivos base en formato Microsoft Excel con ArcMap, para la automatización del proceso de carga de información geográfica al modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) requerido en la presentación de Informes de Cumplimiento Ambiental –ICA-. Para lo cual, se tomaron como referencia de prueba cinco feature class con geometría tipo punto contenidos en el modelo ICA. La arquitectura consistió en la aplicación de dos herramientas informáticas: Debug y ArcMap. Debug es un software desarrollado por el equipo colaborador de la presente investigación con el fin de automatizar la creación de los archivos base en formato Microsoft Excel para la carga de información geográfica en la Geodatabase. En ArcMap, se desarrolló un modelo de conversión, espacialización y carga de información geográfica usando la consola de programación ModelBuilder, cuyo objetivo fue la conversión de los archivos de entrada en formato Microsoft Excel a un formato compatible con el software, la espacialización de las entidades geográficas y la incorporación de los feature class dentro de la Geodatabase de un ICA. La metodología se testeó con puntos aleatorios ubicados en el municipio de Medellín usando los cinco feature class del modelo de almacenamiento geográfico. El proceso de carga resultó ser mucho más eficiente y amigable con el usuario final.

Palabras clave. Automatización, Autoridad Ambiental, Base de Datos Geográfica, Debug, Feature Class, ModelBuilder.

Architecture for Automating the Process of Geographical Information Uploading Required in the Environmental Compliance Reports: Colombia Case Study

Abstract. This article presents a software architecture for integrating Microsoft's Excel base-files with ArcMap, in order to automatize the geographical information uploading process to the geographical storage model (Geodatababase) required when presenting environmental compliance reports. In order to achieve this were considered, as test reference, five feature class having point-type geometry belonging to this model (ICA Model). The architecture was constituted by the application of two computing tools: Debug and ArcMap. Debug is a software developed for the supporting team of this research in order to automatize the creation of Microsoft's Excel base-files for the uploading of geographical information into the Geodatabase. In ArcMap was developed a conversion, specialization and geographical information uploading model by using the programming console ModelBuilder which objective was converting the input files from Microsoft Excel format into a compatible format, the spatialization of the geographical entities and the incorporation of the feature classes in the Geodatabase of an ICA. The methodology was tested with random points located in the municipality of Medellin, by using the five feature class of this model of geographical storage. The uploading process resulted to be more efficient and user-friendly.

Keywords. Automation, Environment Authority, Debug, Feature Class, Geodatabase, ModelBuilder

Nomenclatura

ICA: Informe de Cumplimiento Ambiental

SHP: Archivo en formato Shapefile.

GDB: Geodatabase

1. Introducción

La protección del medio ambiente es un tema de prioridad en los gobiernos del mundo. En el caso de Colombia, desde la adopción de la Ley 99 del 1993, se da mayor importancia a los proyectos que en su desarrollo y funcionamiento generar algún impacto negativo al medio ambiente. La resolución 1503 de 2010, por la cual se adoptó la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales, incluye las normas mínimas para la captura y estructuración de los datos espaciales en la base de datos geográfica (Geodatabase) del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT- [1]. El Decreto 3573 de 2011 crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, a quien se le asigna la responsabilidad de diseñar e implementar un Sistema de Información Geográfica que se alimenta con la información producto de los proyectos, obras o actividades de su competencia [2]. En el 2012 con la Resolución 1415 se instaura la exigibilidad del Metadato Institucional como soporte de la información geográfica, y presenta un ejemplo del modelo de almacenamiento geográfico en formato Geodatabase (GDB), Shapefile (SHP) y XML [3]. Finalmente, en el año 2013 con la Resolución 0188 se adopta el modelo de almacenamiento geográfico en los Informes de Cumplimiento Ambiental –ICA- [4].

El Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial define un Informe de Cumplimiento Ambiental -ICA- como [5]: *“documento elaborado y presentado por el beneficiario de la licencia ambiental para informar a la autoridad ambiental competente sobre el avance, efectividad y cumplimiento del plan de manejo ambiental, conforme a los términos definidos en el otorgamiento de la licencia ambiental, el establecimiento del plan de manejo ambiental y cualquier otro acto administrativo subsiguiente”*. El ICA incluye un informe sobre el estado de los permisos y/o autorizaciones ambientales otorgadas, el estado de los requerimientos realizados mediante actos administrativos y el análisis de tendencia de la calidad del medio donde se desarrolla el proyecto [6]. Esquemáticamente, un ICA está organizado en una serie de formatos de cumplimiento ambiental según lo estipula el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos [5]. Con la entrada en vigencia de la Resolución 0188 de 2013, se convierte en obligatoria la articulación del modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) en los Informes de Cumplimiento Ambiental –ICA-.

El modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) para la presentación de Informes de Cumplimiento Ambiental –ICA- consta de dos elementos fundamentales [4]:

– Base de Datos Geográfica –Geodatabase- con información temática del proyecto [11].

– Base de Datos Geográfica – Geodatabase- con cartografía base de la zona donde se ubica el proyecto.

La base de datos geográfica con información temática, soporta datos geográficos vectoriales, raster y tablas; mientras que la base de datos con cartografía base solo soporta información tipo vectorial. Ambas bases de datos están organizadas en Datasets según afinidad temática, los cuales contienen uno o varios Feature Class [4]. Cada Feature Class, Raster y Tabla deben ser diligenciados siguiendo los lineamientos establecidos en el modelo de almacenamiento geográfico del Ministerio, respetando los atributos y dominios requeridos para la información [4]. Además, es necesario la redacción del Metadato Institucional siguiendo la Normatividad NTC 4611 por cada uno de los Feature Class y Raster generados dentro de la cartografía temática y un solo Metadato para la Geodatabase de cartografía base [3]. Debido a esto, para los usuarios de licencias ambientales obligados a presentar Informes de Cumplimiento Ambiental –ICA- que no cuenten con un profesional especialista en el manejo de Sistemas de Información Geográfica, se hace complejo el proceso de organización y alimentación de la información geográfica en el modelo de almacenamiento geográfico adoptado normativamente. Dejando en firme la aparición de errores topológicos, heterogeneidad de los sistemas de coordenadas y en general, la desaprobación por parte de la autoridad ambiental de ICA.

Atendiendo al problema expuesto, se presenta en este artículo una propuesta de arquitectura para la automatización y facilitación de la carga de información geográfica en el modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) para algunos elementos cartográficos (Feature Class) comúnmente incluidos en los Informes de Cumplimiento Ambiental –ICA- por diversos tipos de proyectos.

2. Metodología

2.1 Insumos y organización de la información

La construcción de la propuesta expuesta en este artículo parte del estudio detallado del modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) para la presentación de Informes de Cumplimiento Ambiental –ICA-, dando énfasis sobre cinco Feature Class específicos: Puntos de Monitoreo de Calidad de Aire, Fuentes Fijas de Emisiones Atmosféricas, Puntos de Monitoreo de Ruido Ambiental, Puntos de Monitoreo de Calidad del Agua y Puntos de Vertimientos de Aguas Residuales. Este énfasis se genera pensando en las pruebas preliminares del modelo en base a información tipo Punto, que ofrece menores restricciones para la organización y carga dentro de la Geodatabase; sin embargo, el objetivo futuro es expandir el alcance para la información tipo línea y polígono.

En la Figura 1 se presenta un esquema jerárquico la organización interna del modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) para la información temática en la presentación de Informes de Cumplimiento Ambiental –ICA-. Se observa que la organización de los

archivos con formato vectorial presenta una mayor complejidad al interior de la GDB en comparación con la información tipo raster y tabla. Los archivos en formato

tabla están asociados de forma complementaria a diferentes Feature Class según lo estipula el modelo de almacenamiento geográfico [4].

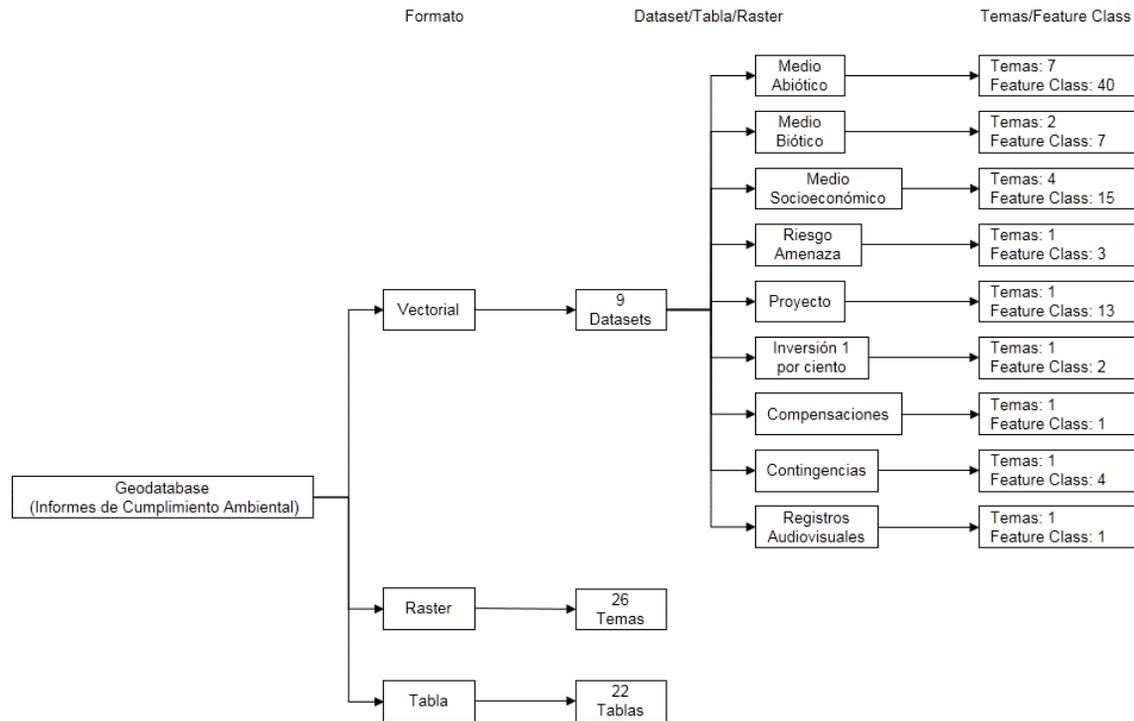


Figura 1. Esquema jerárquico de la organización interna del modelo de almacenamiento geográfico del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para la presentación de Informes de Cumplimiento Ambiental –ICA-.

Cada uno de los feature class, raster y tablas dentro de la GDB con información temática contiene una serie de atributos enlazados a las entidades geográficas representadas en el archivo respectivo. Para los cinco feature class de interés citados anteriormente, los atributos están asociados a cada una de las entidades geográficas tipo punto que conforman cada feature class. Los atributos están organizados en un archivo matricial para el caso de los datos geográficos con formato vectorial, en el cual las filas representan las entidades geográficas contenidas al interior de cada feature class y las columnas representan los atributos específicos de dichas entidades geográficas en función de la naturaleza de los datos y la información de salida requerida en el ICA. La cantidad de columnas o atributos exigidos en cada feature class está definida en el modelo de almacenamiento geográfico, en cuyo caso, para los cinco feature class de interés en el presente artículo se mencionan en la Tabla 1.

Como se observa en la Tabla 1, la cantidad de información necesaria para cumplir con los lineamientos del modelo de almacenamiento geográfico exigido en la presentación de un ICA es de tamaño considerable, aunque debe tenerse en cuenta tres aspectos respecto a dichos atributos en cada uno de los feature class:

- No todas las columnas de atributos deben ser diligenciadas en todos los proyectos, pues esto depende de la naturaleza de los mismos

- El diligenciamiento de cada una de las columnas se describe en el modelo de almacenamiento geográfico (GDB), incluyendo el tipo de entrada (Texto, Fecha o Numérico), la longitud de la entrada, las unidades de entrada y observaciones pertinentes de cada atributo.
- Algunas columnas deben ser diligenciadas utilizando unos dominios específicos; es decir, valores particulares para dicho atributo. Estos dominios están incluidos en el modelo de almacenamiento geográfico, aunque su aplicación requiere respetar el tipo de formato, la longitud de la entrada y los caracteres alfanuméricos.

Tabla 1. Atributos requeridos para la inclusión de los 5 feature class de interés dentro de la GDB para la presentación de Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA-

| Feature Class | Atributos Requeridos (columnas) | Formato de entrada de los atributos |
|--|---------------------------------|-------------------------------------|
| Puntos de Monitoreo de Calidad de Aire | 76 | Texto, Fecha y Numérico |
| Fuentes Fijas de Emisiones Atmosféricas | 39 | Texto, Fecha y Numérico |
| Puntos de Monitoreo de Ruido Ambiental | 38 | Texto, Fecha y Numérico |
| Puntos de Monitoreo de Calidad del Agua | 129 | Texto, Fecha y Numérico |
| Puntos de Vertimientos de Aguas Residuales | 58 | Texto, Fecha y Numérico |

Teniendo en cuenta estos tres elementos, es de prever que el diligenciamiento de los atributos en cada feature class demanda un cuidado y tiempo, especialmente en lo relacionado a la organización de la información con el fin de adaptarla a las características de entrada necesarias.

Un primer elemento generado durante el desarrollo metodológico en aras de facilitar el llenado de los atributos pertenecientes a los 5 feature class de interés fue un libro de cálculo en formato *Microsoft Excel* [7] denominado “DataSource”, el cual contiene las columnas exigidas por el modelo de almacenamiento geográfico en cada uno de los feature class (se incluyó una descripción sobre la información a diligenciar en cada columna). Este archivo fue el insumo principal para la generación de libros de cálculo independientes en formato *Microsoft Excel* [7] para cada uno de los feature class de trabajo utilizando el aplicativo “Debug” [8].

2.2 Manipulación del aplicativo Debug

Se programó un aplicativo para Windows denominado “Debug” [8], usando el lenguaje de programación C# y la interfaz Interop.Excel de .NET. Debug posee una interfaz sencilla de manipular como se puede observar en la Figura 2 e internamente presenta flexibilidad para la incorporación de cambios en las características de entrada y salida de la información. A continuación se explica detalladamente la manipulación del aplicativo dentro de la finalidad de este artículo (ver esquema en la Figura 3):

- En la pestaña “Create file for user” se carga el archivo base denominado “DataSource”, en el cual se almacenaron todos los campos de atributos asociados a los 5 feature class de trabajo. Para esto, se utiliza la herramienta “Edit” en el panel “Feature classes template”. Una vez seleccionado el archivo de partida, se escogió el directorio de salida del proceso, usando la opción “Generate” en el panel “User file generation”. Llenos los dos campos obligatorios en esta pestaña, se procede a pulsar el botón “Next”, ante lo cual, tras unos breves segundos se alerta mediante una ventana emergente la realización de la tarea. El resultado de este proceso es la generación de un libro de cálculo en formato *Microsoft Excel* [7] con los campos de atributos de cada feature class de trabajo separados en hojas de cálculo independientes; es decir, cada hoja representa un feature class y al interior de ella, cada columna representa un atributo y cada fila una entidad geográfica (un punto). Además, cada columna contiene un comentario en el título de la misma con la descripción de dicho campo. En el caso de las columnas con dominios preestablecidos, estos están organizados usando listas desplegables. El usuario final debe diligenciar estas pestañas con la información puntual del proyecto, dejando en blanco aquellas que no apliquen en cada caso.



Figura 2. Interfaz de usuario del aplicativo Debug. Arriba: Pestaña “Create file for user”. Abajo: Pestaña “Export feature class files”.

- En la pestaña “Export feature class files” se ingresa el archivo generado en el paso A, el cual debe estar debidamente diligenciado con la información particular del proyecto y los atributos asociados a las entidades geográficas. La opción utilizada para esta finalidad es el botón “Browse” del panel “User filled file”. Nuevamente, se selecciona el directorio de almacenamiento de los resultados, usando la opción “Open directory” del panel “Feature classes generation”. Completados ambos campos de la pestaña, se procede a pulsar el botón “Generate”, tras lo cual se alerta mediante una ventana emergente la realización de la operación. El resultado de este proceso genera una carpeta en la cual se almacenan 5 libros de cálculo diferentes, en formato *Microsoft Excel* [7] correspondientes a cada uno de los feature class de trabajo. En la primera hoja de cada uno de los libros están incluidos los atributos del feature específico organizados en columnas, siendo cada entidad geográfica (cada punto) una fila de la hoja en mención. Estos archivos son el producto final del uso del aplicativo “Debug” [8], los cuales contienen toda la información suministrada por el usuario para cada feature class cumpliendo con los requisitos del modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase).



Figura 3. Esquema del procesamiento de la información geográfica usando el aplicativo Debug.

Posteriormente, los libros de cálculo en formato Microsoft Excel [7] que representan cada uno de los feature class de trabajo se ingresan a la Geodatabase

de un ICA, usando para tal efecto el programa ofimático ArcMap [9] de ESRI.

2.3 Carga de información geográfica en la Geodatabase de un ICA

Partiendo de los archivos en formato *Microsoft Excel* [7] generados tras la manipulación del aplicativo "Debug" [8]; es necesario representar espacialmente las entidades geográficas contenidas en cada feature class con el fin de cargar la información geográfica al interior de la Geodatabase estructurada según el modelo de almacenamiento geográfico del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** La espacialización de la información se realiza utilizando la aplicación "ModelBuilder" del software ArcMap [9]. "ModelBuilder" es una consola interactiva de programación basada en las herramientas internas de geoprocésamiento que ofrece ArcMap. Dicho modelo combina las entradas de información, los geoprocésos, y las salidas de información. La virtud de este aplicativo es la facilidad de uso, pues la programación se realiza siguiendo un esquema de flujo entre las entradas, procesos y salidas. El modelo generado se esquematiza en la Figura 4.

Se observa que el modelo tiene como punto de partida los archivos con extensión .xls generados previamente en el software "Debug" [8] y permite la incorporación final del feature class dentro de la Geodatabase de un ICA. Las herramientas del software ArcMap [9] utilizadas en la ejecución del modelo se presentan en la primera fila del diagrama.

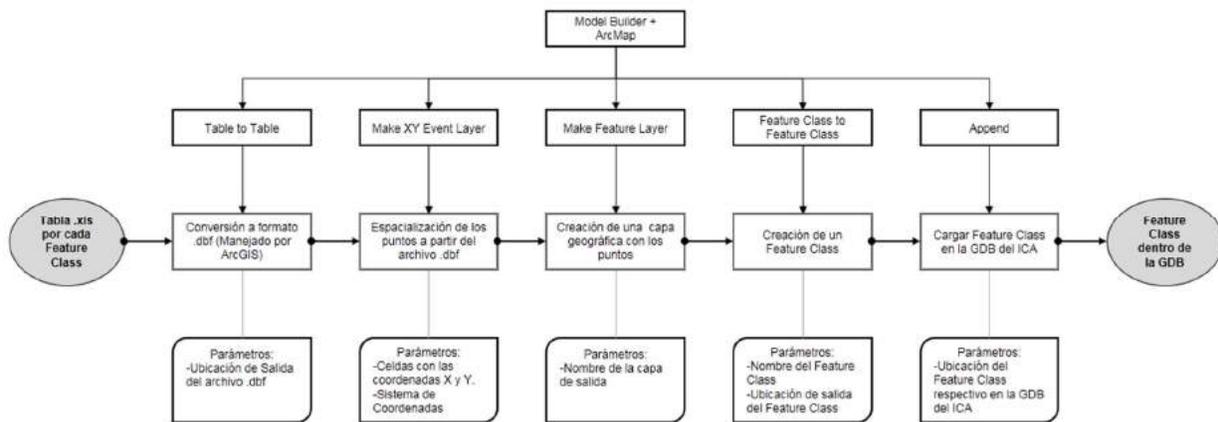


Figura 4. Esquema del modelo programado en ModelBuilder de ArcMap para automatizar la carga de información geográfica en la Geodatabase de un ICA.

Es importante recalcar tres aspectos claves del modelo presentado:

- La herramienta “*Make XY Event Layer*” permite la espacialización de las entidades geográficas, para lo cual es necesario que las coordenadas diligenciadas por el usuario en la columna de atributos respectiva dentro del archivo en formato *Microsoft Excel* [7] para cada feature class deben estar acordes al sistema de referencia oficial Magna Sirgas Origen Bogotá [4].
- La Geodatabase del ICA que cumple con los requisitos del modelo de almacenamiento geográfico debe ser descargada del portal “*Sistemas de Información Geográfica*” de la página web de la ANLA. Esta Geodatabase debe poseer el sistema de referencia Magna Sirgas Origen Bogotá [4].
- Los parámetros de trabajo referenciados en el esquema hacen alusión a las variables necesarias para ejecutar cada operación en el software; sin embargo, las variables de entrada generalmente se refieren a la denominación y ubicación de salida de los archivos temporales generados en el proceso.

3. Resultados

Se testeó la metodología expuesta utilizando los 5 feature class de trabajo y puntos aleatorios ubicados en el Municipio de Medellín, Departamento de Antioquia. Haciendo uso del software “*Debug*” [8] se generó los archivos en formato *Microsoft Excel* [7] independientes por cada feature. Se completaron todos los atributos solicitados en cada feature class y se exportaron los datos en archivos separados.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de escritorio para verificar la veracidad de la información y su estructura, verificando así su congruencia con los atributos establecidos por el modelo de datos geodatabase ANLA [4] para cada elemento en particular partiendo de la estructura de datos.

Posteriormente, se cargaron los feature class en la Geodatabase plantilla de un ICA utilizando el software *ArcMap* [9] y el modelo elaborado en la herramienta “*ModelBuilder*” [9]. El resultado final del proceso es la incorporación exitosa de los feature class dentro de la Geodatabase. Como productos finales de la metodología se incluye el aplicativo “*Debug*” [8] el cual puede ser modificado según las necesidades que se presenten, dando así la posibilidad de agregar nuevos elementos y el modelo en la herramienta “*ModelBuilder*” [9], listos para ser entregados como insumo al ANLA.

4. Trabajos futuros

Como un línea de investigación en el tema tratado se observa claramente la necesidad de expandir la aplicabilidad de la metodología propuesta a todos los feature class tipo punto que incluye el modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) para la presentación de Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA-; al igual que la expansión de los alcances hacia

información geográfica con geometría tipo línea y polígono.

También se considera pertinente complementar el modelo en cuanto a la incorporación de herramientas que permitan la manipulación de información geográfica con coordenadas accesibles y de uso general, tales como el sistema de referencia WGS1984. Esto último se sustenta en el poco conocimiento por parte de los usuarios del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia –MAGNA- y el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas –SIRGAS-.

5. Conclusiones

La metodología aplicada en el presente artículo facilita el conocimiento y organización de la información geográfica al interior del modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) exigido por la Autoridad Ambiental en los ICA. El desarrollo del aplicativo “*Debug*” constituyó un avance significativo en el diligenciamiento de los atributos asociados a los feature class de trabajo, el cual es sin duda alguna la piedra angular de la metodología aplicada. Este aplicativo presenta un amplio horizonte de aplicación en la organización de la información geográfica para geometrías tipo punto, línea y polígono.

El modelo construido en *ArcMap* permite la espacialización y carga de la información geográfica a la Geodatabase del ICA. La combinación de estas dos herramientas desarrolladas constituye un elemento fundamental para la implementación y adopción de los Sistemas de Información Geográfica en los usuarios que no poseen un conocimiento técnico avanzado sobre el funcionamiento de los mismos y deben presentar ICAs ante la autoridad ambiental, potenciado el desarrollo de los proyectos y la entrega de la información de una manera más entendible y eficaz.

6. Recomendaciones

Es necesario considerar a un profesional especialista en Sistemas de Información Geográfica como el perfil más acorde con la manipulación y estructuración de la información geográfica en aras de cumplir con los requisitos del modelo de almacenamiento geográfico. El nivel formativo de este profesional garantiza la adopción del modelo y la estructuración de la información geográfica conforme los requisitos del mismo, garantizando la calidad de los datos generados y la aceptación de la Geodatabase por parte de la autoridad ambiental.

Con el fin de garantizar la calidad de los datos geográficos, el profesional encargado de la estructuración del modelo de almacenamiento geográfico para la presentación de ICAs debe tener presente, entre otras cosas: los formatos aceptados por el modelo (*Shapefile* y *Geodatabase*), el sistema de coordenadas de la base de datos y los datos vectoriales, los anexos en formato tabla requeridos como soporte de algunos feature class, la eliminación de los feature class que no apliquen al informe, la entrega de los productos

intermedios generados en la consolidación de los feature classes, el diligenciamiento del metadato institucional por cada capa geográfica y cada elemento de datos raster (utilizando la plantilla institucional), la nomenclatura de los atributos y el metadato en concordancia con los lineamientos de la ANLA, la precisión de la información geográfica en función de la escala de presentación, etc. Finalmente, es necesario aclarar que toda la información geográfica presentada en el ICA debe ser únicamente aquella relacionada al informe de cumplimiento, y no a los estudios ambientales (DAA, EIA o PMA).

7. Apéndice: glosario de términos

Feature Class: Una “clase de entidad” (feature class por su traducción desde el inglés) es una colección de entidades geográficas que comparten el mismo tipo de geometría (tal como punto, línea o polígono) y los mismos campos de atributo para un área en común [10].

Feature Dataset: Un “dataset de entidad” (feature dataset por su traducción desde el inglés) es una colección de clases de entidad relacionadas que comparten un sistema de coordenadas común [10].

Metadato: Es la información que describe los datos geográficos. Permiten evaluar la calidad de la información, el proceso de la misma y los resultados obtenidos [10].

Geodatabase: Es una colección de datasets geográficos de varios tipos en una carpeta en común [10].

8. Referencias

- [1] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 1503 de 2010. 2010, p. 2.
- [2] Departamento Administrativo de la Función Pública, Decreto 3573 de 2011. 2011, pp. 15–16.
- [3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1415 de 2012. 2012, pp. 1–3.
- [4] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 0188 de 2013. 2013, pp. 1–5.
- [5] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, “Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos - Criterios y Procedimientos.” Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002.
- [6] M. I. Conrado López y L. F. Suárez Barrera, “Elaboración de una guía metodológica para el seguimiento ambiental y control de los proyectos a cargo de la subdirección de Medio Ambiente y Gestión Social del Instituto Nacional de Vías -INVIAS- con su aplicación”, Universidad de la Salle, Bogotá D.C., 2008.
- [7] Microsoft, Microsoft Excel. USA: Microsoft, 2013.
- [8] A. F. Gutiérrez, Debug. Medellín: Independiente, 2015.
- [9] Environmental Systems Research Institute Inc., ArcMap. 380 New York Street, Redlands, California: Environmental Systems Research Institute Inc., 2012.
- [10] Environmental Systems Research Institute Inc., “Tipos de Datos”, Ayuda de ArcGIS (10.2, 10.2.1 Y 10.2.2), 16-jun-2014.
- [11] Claudia Elena Durango Vanegas. Asociación de datos espacio-temporales en base de datos ORACLE. Ing. USBMed, Vol 5, N° 2, Julio - Diciembre 2014

Procesos de Geoprocesamiento en la Espacialización de Servicios Ecosistémicos en Áreas de Interés Local, Caso de Estudio: Cuenca la Presidenta

Juan C. Valdés Q.
Politécnico Colombiano
Jaime Isaza Cadavid
Facultad de Ingeniería
jcvaldes@elpoli.edu.co

Carlos A. Castro C.
Universidad de San
Buenaventura, Medellín
Facultad de Ingeniería
carlos.castro@usbmed.edu.co

Helena Pérez G.
Universidad de San
Buenaventura, Medellín
Facultad de Ingeniería
helena.perez@usbmed.edu.co

John F. Escobar M.
Politécnico Colombiano
Jaime Isaza Cadavid
Facultad de Ingeniería
jfescobar@elpoli.edu.co

(Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica. Recibido el 22/09/2016. Aprobado el 15/02/2017)

Resumen. Es evidente la ausencia de modelos de datos que permitan la caracterización y mapeación de funciones ecosistémicas (FE) y servicios ecosistémicos (SE) que puedan ser implementados en los mercados comerciales y poco peso en la toma de decisiones para el soporte de la generación de políticas de conservación y gestión del recurso natural. En el presente estudio, se realiza una revisión de la literatura en donde se abordan los conceptos fundamentales de la estructura ecológica principal (EEP), las FE y los SE, su impacto en los procesos de gestión del territorio y los principales modelos y herramientas que se utilizan en el orden global para su modelación. Basados en el protocolo ECOSER, se realiza una simulación del SE de estabilidad de laderas en la localidad de la cuenca La Presidenta, obteniendo como resultado una relación entre la cobertura vegetal en la zona rural de la cuenca y en algunos sectores urbanos en donde los procesos de control de erosión, erodabilidad, los índices de erosividad y la implementación de obras hidráulicas, permiten obtener beneficios tangibles. Este modelo posibilita recrear escenarios de comportamiento del flujo de dicho SE, permitiendo contar con herramientas que a futuro sean utilizadas en la gestión pública y la planificación territorial.

Palabras clave. Ecosistemas, Servicios Ambientales, Ordenamiento Territorial, Laderas de alta Montaña

Geoprocessing Management for the Spatialisation of Ecosystem Services in Areas of Local Interest, Case of Study: Cuenca La Presidenta

Abstract *It is evident the absence of data models that allow the characterization and mapping of ecosystem functions and ecosystem services that can be implemented in commercial markets, and in decision making to support the generation of conservation policies and management of the natural resource. In the present study, a review is made in which the fundamental concepts of the main ecological structure are addressed, the ecosystem functions and ecosystem services, their impact on processes of territorial management and the main models and tools is done that used in the global order for modeling. Based on the ECOSER protocol simulation SE slope stability is carried out in the locality of the basin La Presidenta, resulting in a relationship between vegetation cover in rural area of the basin and in some urban areas where erosion control process, erodibility, erosivity index and implementation of hydraulic structures, get tangible beneficial. This model also allows scenarios flow behavior of the ecosystem services, allowing to have tools that are used in future governance and territorial planning.*

Key Words: *Ecosystems, Environmental Services, Territorial Management, High Mountain Slopes*

1. Introducción

Los procesos de gestión y ordenamiento del territorio desde las políticas públicas deben soportarse en elementos que involucren la dimensión ambiental de manera amplia y profunda, para ello se establece la necesidad de definir la estructura ecológica principal (EEP) y la caracterización y mapeación de los servicios ecosistémicos (SE), para su incorporación en planes e instrumentos de planificación sectorial y territorial y que permitan satisfacer las necesidades básicas de la población [1].

En [2], donde se reglamentan los aspectos determinantes del ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación, se define la EEP como *“El conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales del territorio, cuya finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, los cuales brindan la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones”*(p. 6). El IDEAM, [1], igualmente plantea como una meta de orden superior la EEP debe “asegura en el tiempo la protección de la diversidad biológica en sus diferentes niveles de organización y de los servicios que proveen los ecosistemas naturales, orientando el manejo adecuado de las mismas”, basados en dos principios claves: En primera instancia, que la EEP contiene las áreas que aseguran la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos naturales para mantener la diversidad biológica de la nación y en segundo lugar, que debe contener las áreas de mayor significancia en la oferta de servicios ecosistémicos que benefician a la población y soportan el desarrollo económico.

En [3], y específicamente en el aparte de gestión ambiental y del riesgo de desastres se menciona *“la biodiversidad como elemento potencial para definir una nueva identidad de país”*, y se expresa una limitación en el cumplimiento o la generación de leyes al respecto, dado que no se cuentan con elementos claves en la delimitación de áreas de importancia ecológica, la zonificación y ordenación de las reservas forestales nacionales y la definición de la EEP, lo cual es fundamental para orientar la formulación e implementación de políticas nacionales y negociaciones intersectoriales, que privilegien la sustentabilidad de la vida.

En las últimas décadas, se han venido desarrollando estudios e investigaciones alrededor de la vinculación de las funciones de los ecosistemas con sus servicios, posibilitando acercamientos para la integración del concepto del servicio del ecosistema en la planificación del territorio, la gestión de los recursos y la toma de decisiones.

El término de servicio ecosistémico “SE” es utilizado en la literatura científica desde hace varias décadas y orientado hacia la valoración del capital natural [4]; [5],

y es entendido como los beneficios que los ecosistemas proveen a los seres humanos. Éste enfoque de SE ha ganado claridad conceptual a partir del modelo de cascada propuesto por [6], [7], en donde se plantea una secuencia de valor conceptual y metodológico que vincula el capital natural (biodiversidad, ecosistemas) con el bienestar humano. En este se describe el flujo de procesos socio-ecológicos entre los que se distinguen: a) los beneficios, como aquellos productos finales de los ecosistemas que en interacción con la actividad socioeconómica y/o cultural aportan al bienestar, b) los SE propiamente dichos, como aquellos procesos ecosistémicos que soportan directa o inmediatamente la generación de beneficios, y c) las funciones ecosistémicas (FE), como el conjunto de procesos que soporta la provisión de un determinado SE y que dependen de la calidad del ecosistema (tipo, extensión, estado de conservación).

Los SE pueden ser definidos como las condiciones y procesos mediante los cuales los ecosistemas y las especies que habitan en ellos, mantienen la vida humana [8] y son determinados por su contribución al bienestar humano, al ser el producto final de diversas FE (clima, agua, erosión), que pueden proveer bienes tangibles tales como madera o los alimentos resultado de diferentes procesos del ecosistema [9]. Los valores sociales que la población asigne a determinado paisaje o ecosistema son fundamentales en la planificación ambiental y el ordenamiento territorial, ya que pueden proporcionar elementos sustanciales de decisión a través de la participación activa de las comunidades locales e instituciones interesadas en el proceso de planificación [10], [11], [12], [13].

El avance en el estudio sobre FE y SE ha permitido establecer acuerdos y estrategias estandarizadas alrededor de la evaluación de los ecosistemas [14], constituyendo escenarios en los que los SE son los beneficios que las poblaciones humanas obtienen, directa o indirectamente de las FE [15], destacando como resultados que la pérdida de la biodiversidad y el deterioro de los SE contribuyen (directa o indirectamente) a deteriorar aspectos del bienestar humano como la salud y la seguridad alimentaria, incrementado la vulnerabilidad y riesgo; es por tal motivo que los tomadores de decisión deben involucrar a los SE en los ejercicios de priorización, aunque se reconocen las dificultades conceptuales, técnicas y operativas al momento de otorgarle un carácter espacial a los servicios ecosistémicos [13].

En la Figura 1 se puede observar un modelo conceptual en donde se identifica la provisión de SE a partir de FE, su propagación hacia los beneficiarios y la retroalimentación que se puede realizar desde los tomadores de decisión para conservar los ecosistemas.

Tabla 1. Clasificación de Servicios Ecosistémicos Adaptado [16]

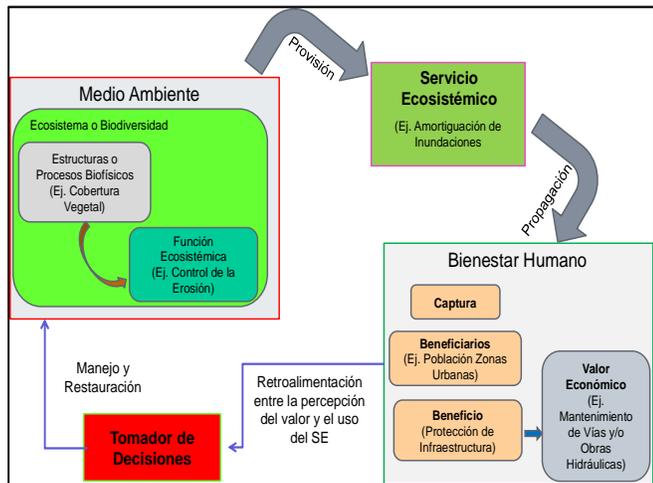


Figura 1. Funciones y Servicios Ecosistémicos. Adaptado [16]

En la Tabla 1 se presenta la clasificación de SE en sus tres niveles principales, según la categorización propuesta por [16].

Es importante resaltar dentro de la modelación tanto de FE, como de SE, los asuntos relacionados con la escala se convierten en un factor determinante al momento de obtener resultados concretos y confiables para la gestión territorial en comunidades específicas [17], plantean la necesidad de ajustar a escalas de análisis apropiadas, áreas pequeñas que ofrecen varios beneficios, que han sido pasados por alto, debido a que quedan fuera del inventario de los SE analizados a escala regional o de orden superior. En un caso específico de pequeños humedales, en que la obtención de SE como es la calidad y regulación de agua y el control de la biodiversidad, no son inventariados dada la utilización de escalas inadecuadas, pues se dejan de lado aspectos relevantes como la extensión del área en la modelación, y no se identifican en el contexto de su ubicación e interrelación con otras fuentes hídricas.

La Iniciativa para la Conservación en la Amazonia Andina – ICAA, con base en los estudios Evaluación de los Ecosistemas del milenio y los informes y marco metodológico propuesto por el enfoque de la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad [18], plantean aspectos metodológicos para caracterización y valoración de los SE y su integración en la planificación local. Igualmente, en el proyecto financiado por el fondo para el medio ambiente mundial [19], se presenta un enfoque a los SE a escala local, donde definen aspectos metodológicos para la selección de los SE de interés así como la importancia de identificar los beneficiarios y sugiere algunas herramientas geoinformáticas para simular escenarios de actuación con el fin de priorizar áreas de conservación y/o recuperación para asegurar la producción sostenible.

| Sección | División | Grupo |
|----------------------------|---|---|
| Provisión | Nutrición | Biomasa Agua |
| | Materiales | Biomasa, Fibra Agua |
| | Energía | Fuentes de energía de biomasa Energía mecánica |
| Regulación y Mantenimiento | Mediación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias | Mediación vía biota Mediación vía ecosistemas |
| | Mediación de flujos | Flujos de masa Flujos líquidos Flujos gaseosos/aire |
| | Mantenimiento de las condiciones físicas, químicas, biológicas | Mantenimiento de ciclo de vida, habitat y protección de material genético Control de plagas y enfermedades Composición y formación del suelo Condiciones del agua Regulación del clima y la composición atmosférica |
| Cultural | Interacciones físicas e intelectuales con los ecosistemas y paisajes terrestres/marinos [configuración ambiental] | Interacciones físicas y experienciales Interacciones intelectuales y de representación |
| | Interacciones de tipo espiritual, simbólica y otras con los ecosistemas y paisajes terrestres/marinos [configuración ambiental] | Espiritual o emblemáticos Otros productos culturales |

Otro casos de interés, abordados en [20], presentan un marco conceptual, modelos, aspectos legales, de valoración de SE, así como casos de aplicación, y hace énfasis la existencia de conexiones entre los sistemas a escala local con relación a aspectos de economía y política global; dentro de los cuales se resaltan los recursos hídricos subterráneos (descenso de niveles y salinización) y superficiales (disminución de caudales, reducción de humedales).

Estos trabajos concluyen sobre las inconveniencias de realizar extrapolaciones directas de una escala a otra, pues dichas técnicas podrían ser contraproducentes en áreas de mayor tamaño o

viceversa, más aun en asuntos que involucren gradientes productivos y en este caso, se recomiendan abordajes de planificación a escalas específicas, locales, regionales o de paisaje [21].

2. Metodologías, Modelos y Herramientas para la Caracterización de FE y SE

El desarrollo evidenciado en el ítem anterior en los últimos años, ha permitido no solo un creciente incremento de la literatura científica sobre la temática de la caracterización y mapificación de FE y SE, sino que a la vez, con diversos enfoques, metodologías y herramientas han concedido diferentes perspectivas al respecto [8].

Se presentan tres grandes enfoques metodológicos alrededor de la caracterización y mapificación de SE: en primer lugar, un enfoque soportado desde la transferencia de beneficios, donde éstos se calculan para un determinado ecosistema y dichos valores se transfieren a zonas amplias en escala regional o global de manera genérica [4]; en segunda instancia se identifica el enfoque por funciones de producción de un SE, en donde éstas se modelan, en un área acotada de orden más local, a través de una función de producción ecológica que relaciona el flujo del SE con las variables ecológicas locales [22]; y en tercer lugar se identifica el enfoque de evaluación socio ecológica, el cual enfatiza en los valores y las prioridades sociales por encima de los indicadores económicos, lo anterior, utilizando entrevistas técnicas con los tomadores de decisión en lo referente al manejo de los recursos naturales y con la comunidad misma, propiciando una cuantificación y mapificación de SE con actores de primera línea [23].

Lo anterior, aunque proporciona elementos diversos, los resultados vislumbran una inconsistencia y falta de adecuación de los enfoques e instrumentos que soportan la toma de decisión, [24], [26], generando en muchas herramientas utilizadas para la mapificación pero con poca claridad de los componentes del modelo conceptual representados en Figura 1, los cuales están siendo evaluados, y en otros tantos casos más, se utilizan de manera indistinta y se combinan entre sí en mapas complementados. En [27] se argumenta que en muchas ocasiones, en donde se contemplaban procesos para la mapificación de SE, en realidad, éstos estaban orientados a la mapificación de FE, lo cual refleja, el alto nivel de confusión que se tiene aún entre los conceptos de función, servicio y beneficio.

Sin embargo, el avance tecnológico y la utilización de herramientas de análisis espacial, soportado sobre plataformas geomáticas ha permitido el incremento exponencial de diversos métodos de mapificación para SE [26].

A continuación, se describen algunas de éstas herramientas, destacando sus principales características:

InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs): Este proyecto iniciado en el 2006 por el

Natural Capital Project (universidades de Stanford y de Minnesota, The Nature Conservancy, WWF), es un conjunto de herramientas que se ejecutan de manera independiente, las cuales son desarrolladas para trabajar sobre la suite de ArcGIS, y permiten la mapificación y valoración de diversos SE, proporcionando como insumo fundamental la espacialización de flujos, beneficios y análisis de compromisos bajo múltiples escenarios simulados, posibilitando así su objetivo principal: informar y mejorar la gestión de los recursos naturales y las decisiones de inversión.

El conjunto de 17 herramientas, proporciona la misma cantidad de modelos para analizar ambientes marinos y terrestres, y están soportados en funciones de producción de servicios, dependiendo de la estructura y los procesos de los ecosistemas. Dentro de los modelos presentados se encuentran los SE de: Almacenamiento de Carbono, Retención de Sedimentos, Purificación de Aguas, Hidroenergía, entre otros.

Aunque es una de las herramientas más utilizadas en el momento para la mapificación de SE, algunos autores [28], plantean desventajas como la simpleza de algunos de los modelos a nivel de variables involucradas, la dificultad para obtener datos espaciales utilizados en los modelos en escenarios locales, modelos muy generales sin tener en cuenta aspectos de geomorfología propias de regiones específicas y la ausencia de algunas variables claves a nivel de aguas superficiales y subterráneas.

SoIVES (Social Values of Ecosystem Services): Es una herramienta desarrollada por el USGS Rocky Mountain Geographic Science Center & Colorado State University, constituida para la valoración social de SE, la cual permite efectuar una estimación complementaria a la evaluación económica y resalta la información primaria obtenida a partir de grupos de interés [29]. Al igual que InVEST, permite alojarse y desarrollar modelaciones con ArcGIS. La aplicación permite evaluar, mapificar y cuantificar el valor social percibido de los SE, a través de un índice de valor no monetario y se alimenta fundamentalmente de datos recolectados mediante encuestas a diferentes actores sociales.

Los productos obtenidos con esta herramienta son mapas e información estadística sobre diferentes valores sociales. Esta combinación de información espacial y tabular proporciona la visión de los diferentes actores sociales en relación con los aspectos físicos y ambientales [28].

ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services): Herramienta basada en tecnologías Web, desarrollada en la Universidad de Vermont, EEUU, tiene como objetivo fundamental ofrecer un soporte inteligente para la evaluación y valoración de SE, facilitando y mejorando la toma de decisiones ambientales. La aplicación usa una metodología para cuantificar los SE, la cual reconoce la complejidad

inherente a estos procesos pero proporciona modelos suficientemente sencillos para que sean abordables, es escala amplia de orden general y aplicables a diferentes niveles de detalle según la disponibilidad de datos [30].

Dado que es una herramienta bastante reciente, solo aborda algunos modelos de SE y es necesario una conexión a internet, tanto para su utilización, como para el proporcionamiento de datos en servidores.

ECOSER (Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial), desarrollado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, el CONICET y otras instituciones [31].

Esta herramienta es desarrollada como soporte para la toma de decisiones sobre uso de la tierra en el marco de procesos de ordenamiento territorial rural. Está fundamentada en un protocolo o conjunto de procedimientos que permiten evaluar y mapear SE y estimar la vulnerabilidad socio-ecológica frente a la pérdida de los mismos, teniendo en cuenta la cuantificación y representación espacial del flujo de los servicios [32].

El protocolo comprende dos etapas o módulos: la evaluación del flujo de SE en una unidad de paisaje y el cálculo de sus beneficios asociados y en segunda instancia la evaluación de la vulnerabilidad socio-ecológica frente a la pérdida del flujo de SE y beneficios. La plataforma utiliza para sus modelos el módulo Model Builder de la Suite ArcGIS.

Como puede observarse, existen múltiples herramientas, aplicaciones y métodos para la caracterización y mapeación de SE, algunos de ellos de forma muy general y a escalas globales, y otros con posibilidad de abordar, mediante los modelos, variables e indicadores a escala local, sin embargo su manejo suele ser complejo, tanto desde las lecturas específicas del territorio, así como la adquisición de los datos mínimos necesarios para poder simular los SE.

3. Caso cuenca la Presidenta

3.1 Contexto del área de trabajo, métodos y herramientas

El área de estudio seleccionada para el desarrollo de este trabajo es la Microcuenca La Presidenta, ubicada en el suroriente de la Cuenca del Valle del Aburra ver Figura 2. Esta cuenca presenta un ensamble de diferentes ambientes urbanos y rurales en un área aproximada de mil quinientas hectáreas.

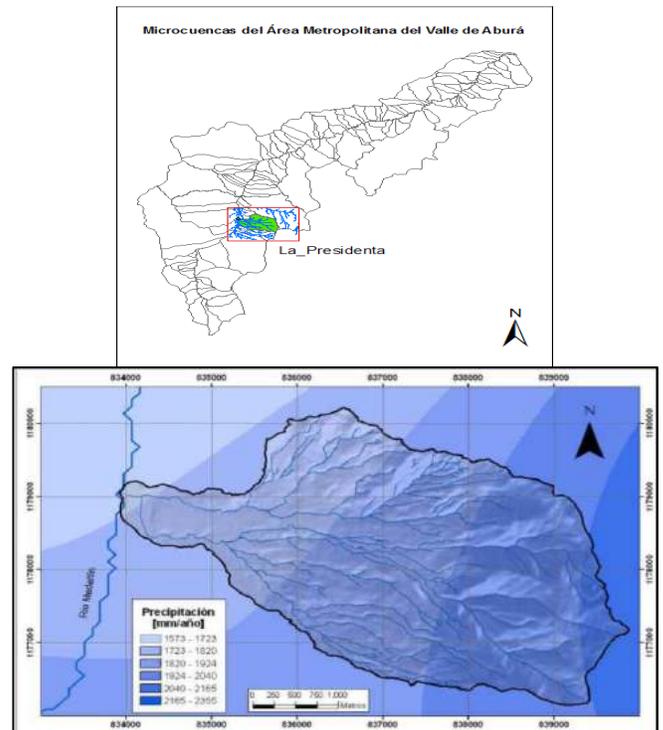


Figura 2. Ubicación de la Microcuenca la Presidenta, dentro de la estructura de la Cuenca del Valle del Aburra y Distribución espacial de la precipitación promedio anual en la Microcuenca de La Presidenta [33]

Una de las razones por la cual se escogió esta cuenca como área de estudio es debido a que en ella se adelantan proyectos para la instrumentación que permita establecer una red de monitoreo de variables hidrológicas y geotécnicas, en donde se podrían obtener a futuro datos e información que posibilite alimentar los modelos en aras de definir zonas de retiro en los cauces y evolución de la oferta y demanda hídrica de la cuenca, esto según, uno de los faltantes fundamentales expuesto en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá [33]. Además, se cuentan con algunas intervenciones urbanísticas que desde lo proyectual se conciben como una forma de protección y conservación de algunas funciones ecosistémicas.

Climatología: El área se caracteriza por tener un clima subtropical monzónico templado y húmedo, con una temperatura promedio de 22°C. La distribución espacial de la Figura 2 muestra una precipitación media anual en la región de estudio. En ésta puede observarse que las mayores precipitaciones se presentan en la parte alta de la microcuenca y las menores en la zona más plana variando entre 1573 y 2355 [mm/año], con una precipitación promedio de 1886 [mm/año] [33].

El área de estudio presenta una distribución espacial de la evapotranspiración, calculada con la ecuación Turc, la cual se encuentra entre el rango de los 668 a los 1032[mm/año] [33].

Hidrología: En cuanto a los aspectos de escorrentías superficiales y soportados con un balance hidrológico a

largo plazo, a partir de los mapas de precipitación y evaporación media multianual se posee el caudal medio de la microcuenca de la quebrada La Presidenta, la cual tiene un área superficial aproximada de 15 km², una longitud del cauce principal de 7.17 km, pendiente promedio de 17.68 % y una pendiente del cauce de 18.33%. Nace en la vereda el Plan del corregimiento de Santa Elena, aproximadamente en la cota 2700 y desemboca en el río Medellín en la cota 1488 m. Los caudales medios anuales se establecieron entre las franjas de 0 a 0.978m³/s [33]

A partir del modelamiento hidráulico de la red de drenaje de la cuenca la Presidenta, realizado por el plan de manejo ambiental para la misma [34], se determinó que la zona baja de la cuenca, con modelación de períodos de retorno de 100 y 500 años, presenta la generación de manchas de inundación a partir de problemas de suficiencia hidráulica de los canales, los cuales son causados por la presencia de un número importante de obras de cruce de vía (en su mayoría boxculverts) que causan fuertes controles hacia aguas arriba, ocasionando desborde hacia la zona inundable próxima a los mismos, sumado esto a las diferentes canalizaciones, rectificaciones de los cauces e invasión de las zonas próximas a las corrientes y los procesos urbanísticos que han restringido las corrientes que ocasionan la pérdida de zonas naturales de amortiguamiento de crecienta en diferentes puntos de la red.

Desde el punto de vista geológico, el Valle de Aburrá presenta un afloramiento de diferentes unidades litológicas: rocas metamórficas del Paleozoico y Cretácico, rocas ígneas del Cretácico y depósitos no consolidados de edades todavía no determinadas [34] Ver Figura 3.

Para la zona se han realizado [33] modelaciones para estimar la evaluación del riesgo, la cual debe surgir a partir de la superposición de las vulnerabilidades ante cada amenaza y la peligrosidad específica y como resultado se tienen mapas de riesgo para cada amenaza, como en la Figura 3, en donde se evidencia el riesgo asociado a movimientos de masa, el cual en la zona posee criterio altos y moderados en una franja de alta montaña, lo cual impacta fuertemente en valores esperados de la pérdida de vidas y bienes materiales.

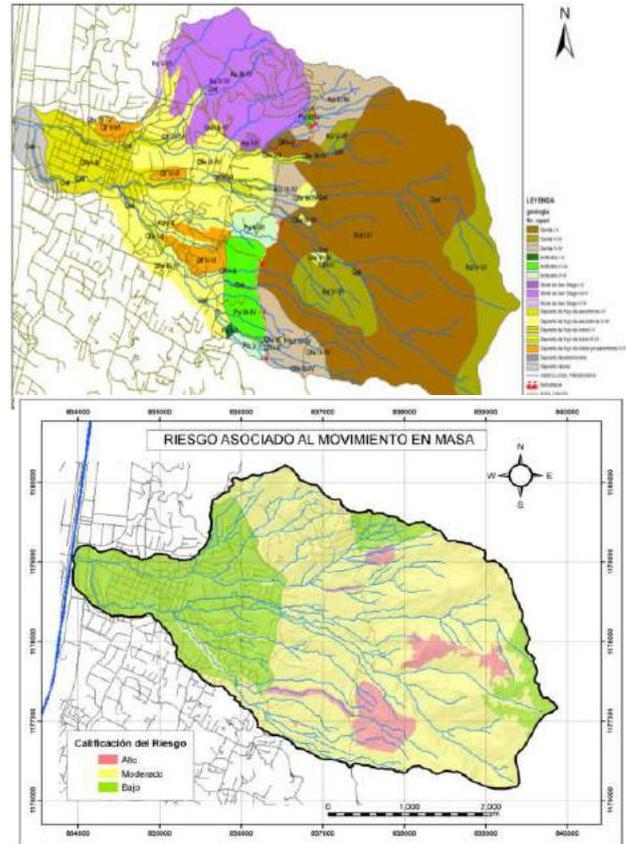


Figura 3. Mapa de Unidades Superficiales y riesgo asociado a movimientos en masa de la Microcuenca de la quebrada La Presidenta [34]

3.2 Problemáticas Físicas y Sociales en el Área de Estudio.

Dentro de las problemáticas asociadas al área de estudio en lo concerniente a aspectos físicos y sociales se destacan las siguientes [33]:

Desarticulación de las obras hidráulicas: Las obras hidráulicas realizadas en la gran mayoría de las corrientes responden a la solución de problemas puntuales y sus implicaciones no son tenidas en cuenta en obras ya existentes o en canales naturales adyacentes. La presencia de obras sin una articulación clara a nivel hidráulico con la corriente es cada vez más común en nuestro medio, tanto en la zona rural como en la urbana.

Aumento de Escorrentía: El aumento de las áreas urbanizadas y pavimentadas hace que se genere una mayor escorrentía directa con poca infiltración que implica un aumento en los caudales máximos que transitan por los canales y cauces de las corrientes de agua.

Insuficiencia en la capacidad Hidráulica: La gran mayoría de las coberturas (box-culverts) fueron diseñadas con caudales hallados con unas condiciones de cobertura vegetal y usos del suelo diferentes a los actuales. Debido al crecimiento de la zona urbana, la escorrentía ha aumentado y las estructuras hidráulicas

se han vuelto insuficientes. Además, las autoridades ambientales que son las competentes de otorgar los permisos de intervención no tienen criterios claros para dimensionar las obras en función de la capacidad hidráulica.

Problemas del agua subterránea: Se considera como problema general el poco conocimiento del recurso agua subterránea enmarcado en los aspectos estructurantes (fuente, recarga, uso y calidad) desde el punto de vista del uso sostenible del recurso, ya que para lograr esto es necesario conocer la disponibilidad, la calidad y el uso actual del mismo.

Se percibe otro problema de contaminación por la actividad antrópica apuntando a estaciones de servicio, desechos de procesos industriales y lixiviados, y un tercer problema que está relacionado con la impermeabilización de la superficie de gran parte de la zona con alto potencial para la recarga directa ya que ésta coincide en gran medida con los suelos urbanos de los municipios del Valle de Aburra, lo que limita la recarga directa a las zonas verdes de la zona urbanizada.

Problemas de Cobertura: Para el sector alto del oriente de la cuenca presentan mucho deterioro y poco desarrollo en su estructura, y corresponden a lo que quedó de un pasado de explotación minera y agropecuaria. Los niveles de deterioro de los bosques de Guarne son en general altos, existiendo muy pocos bosques de categoría Secundario tardío, y menos aún de la categoría Primario. Estas coberturas de bosques en Guarne no son una garantía especial para una regulación hídrica confiable.

Alto grado de fragmentación de los ecosistemas naturales. Alteración de las unidades ecosistémicas de la cuenca: la destrucción de integridad y continuidades ecosistémicas ha generado un paisaje balcanizado con parches de cobertura boscosa nativa de poca área (<5 km², con alto efecto de borde) que no favorecen la continuidad de las demandas ambientales de las dinámicas ecológicas de muchas poblaciones silvestres nativas de la cuenca. Como elemento causal está el modelo de crecimiento económico adoptado por la cultura local, que ha permitido el desarrollo de infraestructura de movilidad, la ubicación de equipamientos y desarrollos urbanísticos, que han ignorado o desconocido las demandas ecológicas de las poblaciones silvestres nativas y su contexto ecorregional.

Problemas de orden social: Las tendencias observadas en la dinámica poblacional de la cuenca dan cuenta de la presión que los pobladores ejercen sobre los recursos naturales, en términos de una alta movilidad por fenómenos migratorios; y del estado de los recursos, que muestra en la cuenca alta dependencia en consumo de bienes y servicios y baja innovación tecnológica.

En el caso del municipio de Medellín, el desplazamiento forzado y la constante inmigración han

conllevado un número significativo de asentamientos en zonas de alto riesgo y en zonas de amortiguamiento de áreas de reserva como en el caso del Parque Arví [33].

3.3 Propuesta de Modelo para la Mapificación de SE en la Microcuenca La Presidenta

Establecido el contexto y las problemáticas físicas y ambientales en el área de estudio, el presente trabajo plantea realizar la mapificación de varios SE siguiendo los modelos y protocolos establecidos en ECOSER, realizando los respectivos ajustes al área de trabajo. Dentro de los servicios a trabajar se encuentra el de estabilidad de laderas, dada la pertinencia en relación a contextos físicos de amenaza y riesgo en la zona de estudio, el cual debe ser determinado en función del estado de la FE control de la erosión.

Para definir el estado de la FE, el control de la erosión se expresa en (ton/año) de pérdida media anual de sedimentos por erosión hídrica [32]. La erosión y la sedimentación son procesos naturales pero en condiciones externas pueden ocasionar impactos negativos como la reducción de la productividad agrícola, la contaminación de cuerpos de agua superficiales, entre otros. La magnitud del transporte de sedimentos en una cuenca se determina por varios factores. La variación natural en las propiedades del suelo, los patrones de precipitación y la pendiente crean patrones de erosión y de flujo de sedimentos. Mientras que otros factores como la cobertura vegetal mantienen el suelo en su lugar y capturan los sedimentos durante su transporte [35].

Teóricamente la estabilidad de laderas se pierde después del 35% de pendiente por razones de la fuerza de gravedad

Para estimar el control de la erosión se puede utilizar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada [36], Ver Ecuación 1

$$A_i = R_i * K_i * LS_i * C_i * P_i \quad (1)$$

Donde

A_i Es la pérdida media anual de sedimentos por erosión hídrica (Ton/año)

R_i es el factor erosivo de las lluvias o índice de erosividad.

K_i es la susceptibilidad del suelo a la erosión

LS_i es un factor que combina la longitud del flujo y el grado de la pendiente

C_i es la cobertura y P_i corresponde a prácticas de conservación que representan las reducciones de pérdidas de sedimentos por protección de la cobertura y buenas prácticas de manejo

En [32], se plantea la posibilidad de estimar la capacidad de la vegetación de un determinado píxel (i) para mantener el suelo en su lugar (control de la erosión) mediante la comparación de la tasa de erosión en ese píxel versus la tasa de erosión que tendría ese

píxel sin vegetación presente (suelo descubierto). La estimación RUSLE [36] para suelo desnudo se calculó como:

$$A_{\max_i} = R_i * K_i * LS_i \quad (2)$$

En tal sentido, el control de la erosión de un píxel *i* es igual a la diferencia entre:

$$A_{\max_i} - A_i \quad (3)$$

En concordancia con lo anterior, se plantea el siguiente modelo para la mapificación de la FE Control de la Erosión:

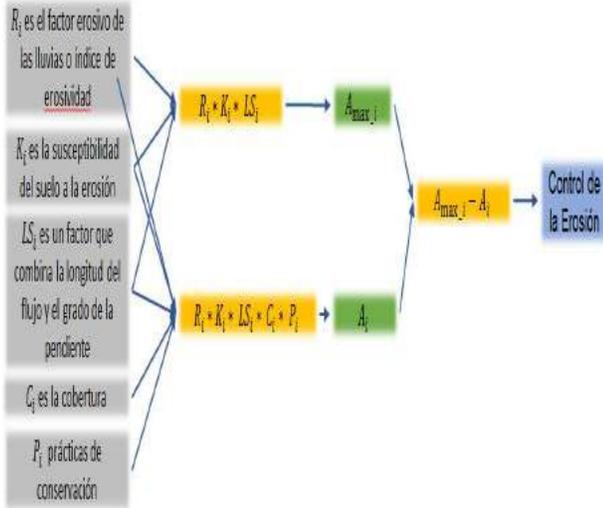


Figura 4. Modelo para Mapificar la Función Control de la Erosión

4. Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos después de la modelación, utilizando las funcionalidades model builder de ArcGIS y utilizando el modelo expuesto en la Figura 4, permiten una visualización de la mapificación de SE de estabilidad de laderas en la microcuenca La Presidenta.

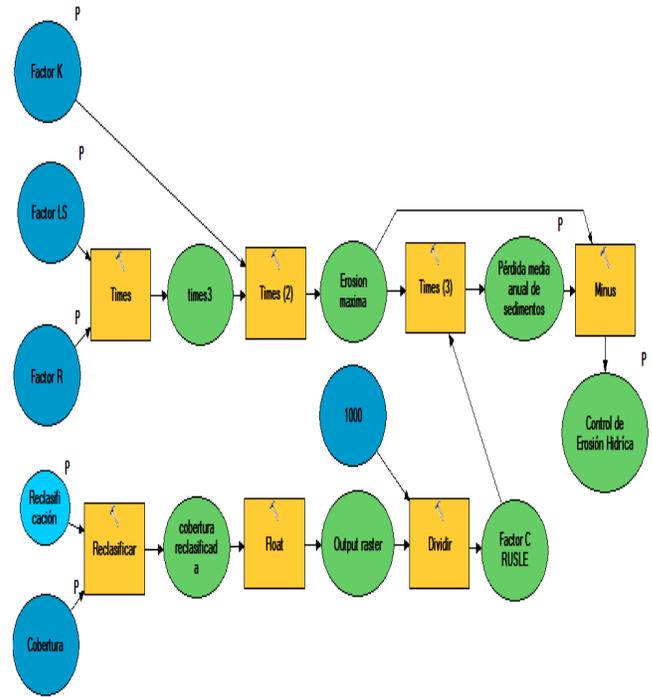
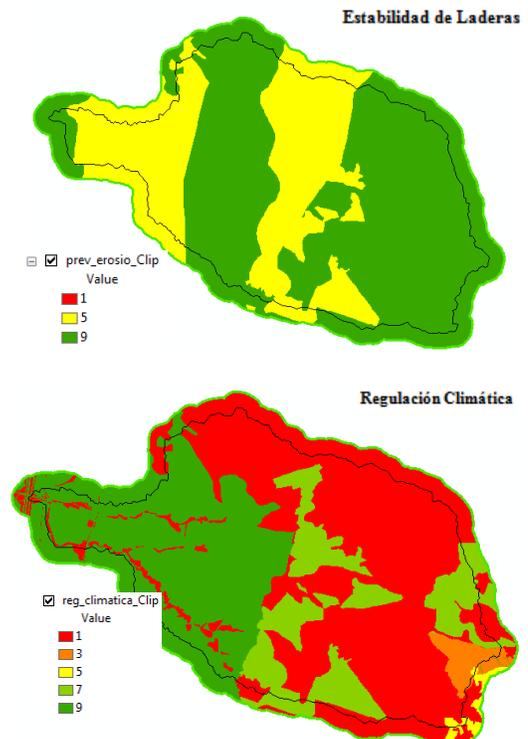


Figura 5. Modelo para la Mapificación de Servicios Ecosistémicos



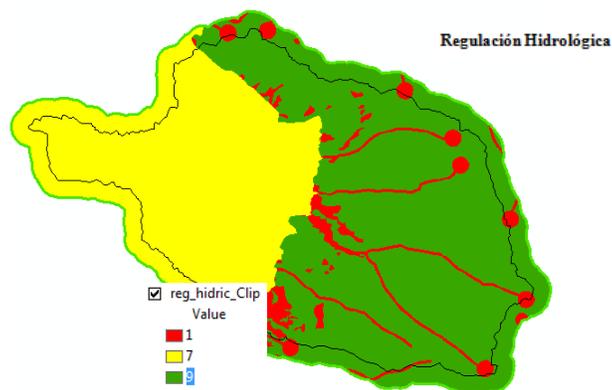


Figura 6. Resultados de la Mapificación de Servicios Ecosistémicos en la Microcuenca la Presidenta

Según las derivaciones obtenidas, visualizadas en la Figura 5, la provisión del servicio ecosistémico en el área de estudio evidencia una relación coherente entre la cobertura vegetal en la zona rural de la microcuenca y en algunos sectores urbanos en donde los procesos de control de erosión, erodabilidad, los índices de erosividad y la implementación de obras hidráulicas, permiten obtener beneficios tangibles para la población.

De igual manera se realizaron modelaciones orientadas hacia los servicios de regulación climática y regulación hidrológica, obteniendo resultados coherentes a las variables involucradas en cada uno de ellos.

Uno de los grandes inconvenientes al momento de poder ejecutar los modelos es la ausencia de datos en el área de estudio relacionados con el tema de servicios, los cuales deberán ser obtenidos con información secundaria a partir de coberturas vegetales, pues la ausencia de instrumentación en la zona, no proporciona la adquisición de datos primarios.

Trabajos como el que se está presentando poseen gran impacto en la gestión del territorio en localidades, pues a partir de los datos obtenidos, se podrán implementar metodologías para la valoración de servicios y en tal sentido, determinar áreas de protección y conservación más coherentes y su inclusión en la EEP realmente garantizará la oferta natural del territorio, razón por la cual, su proyección hacia todas las microcuencas que componen el Valle de Aburrá se hace fundamental para los planes de ordenamiento territorial del área metropolitana.

5. Agradecimientos

Los autores reconocen las contribuciones de Barral, P. y Massone H y Serna C. A [37], en la contribución de aclaraciones conceptuales alrededor de la temática del trabajo. De otro modo agradecen a Meneses G. por la versión original inglesa de este documento.

6. Referencias

[1] IDEAM, "Estructura Ecológica Principal de Colombia. Proceso metodológico y aplicación escala 1:500.000," p. 44, 2011.
 [2] Ministerio de Ambiente, "Decreto 3600 De 2007," vol. 2007, no. 46, pp. 1–16, 2007.

[3] DNP Colombia, "Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 Colombia," Dep. Nac. Planeación. Imprenta Nac. Colomb., vol. Tomo 1, p. 541, 2011.
 [4] R. Costanza et al., "The value of the world's ecosystem services and natural capital," vol. 387, no. May, pp. 253–260, 1997.
 [5] R. S. De Groot, M. A. Wilson, and R. M. J. Boumans, "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services," vol. 41, pp. 393–408, 2002.
 [6] M. B. Potschin and R. H. Haines-Young, "Ecosystem services: Exploring a geographical perspective," *Prog. Phys. Geogr.*, vol. 35, no. 5, pp. 575–594, Oct. 2011.
 [7] R. S. de Groot, R. Alkemade, L. Braat, L. Hein, and L. Willemen, "Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making," *Ecol. Complex.*, vol. 7, no. 3, pp. 260–272, Sep. 2010.
 [8] G. C. Daily and P. A. Matson, "Ecosystem services: From theory to implementation," vol. 105, no. 28, pp. 9455–9456, 2008.
 [9] F. Villa, M. A. Wilson, R. De Groot, S. Farber, R. Costanza, and R. M. J. Boumans, "Designing an integrated knowledge base to support ecosystem services valuation," vol. 41, pp. 445–456, 2002.
 [10] H. A. Mooney et al., *Ecosystems And Human Well-Beings: Wetlands and Water*.
 [11] TEEB, "Teeb - The Economics of Ecosystem and Biodiversity for local and regional policy makers," Report, p. 207, 2010.
 [12] P. Kumar, "The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic." 2010.
 [13] De Groot Rudolf; Fisher Brendan; Christie Mike, "Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation," *Econ. Ecosyst. Biodivers. Ecol. Econ. Found.*, no. March, pp. 1–422, 2010.
 [14] B. Fisher and R. Kerry Turner, "Ecosystem services: Classification for valuation," *Biol. Conserv.*, vol. 141, no. 5, pp. 1167–1169, 2008.
 [15] UNEP-WCMC, "DEVELOPING ECOSYSTEM SERVICE INDICATORS: Experiences and lessons learned from sub-global assessments and other initiatives," Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montréal, Canada., vol. Technical. p. 118 pages., 2011.
 [16] R. and M. P. Haines-Young, "Common international classification of ecosystem services (CICES): consultation on version 4, August-December 2012." 2013.
 [17] M. S. A. Blackwell and E. S. Pilgrim, "Ecosystem services delivered by small-scale wetlands," *Hydrol. Sci. J. – J. des Sci. Hydrol. Hydrol. Sci. J.*, vol. 56, no. 568, pp. 1467–1484, 2011.
 [18] ICAA, "Aspectos metodológicos para los estudios de caracterización y valoración de los servicios ecosistémicos y su integración en la planificación local." pp. 1–4, 2013.
 [19] J. Melorose, R. Perroy, and S. Careas, "Introducción al enfoque de los servicios ecosistémicos a escala local," *Statew. Agric. L. Use Baseline* 2015, vol. 1, 2015.
 [20] M. Abdo et al., "Servicios Ecosistémicos En Argentina," p. 744, 2010.
 [21] S. A. Huq, N., "How is the role of ecosystem services considered in local level flood management policies: Case study in Cumbria, England," *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, vol. 17, no. 4, p. 29, 2015.
 [22] T. H. Ricketts, G. C. Daily, P. R. Ehrlich, and C. D. Michener, "Economic value of tropical forest to coffee production.," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 101, no. 34, pp. 12579–82, 2004.
 [23] I. Palomo, B. Martín-López, M. Potschin, R. Haines-Young, and C. Montes, "National Parks, buffer zones and surrounding lands: Mapping ecosystem service flows," *Ecosyst. Serv.*, vol. 4, no. 2005, pp. 104–116, Jun. 2013.
 [24] N. D. Crossman et al., "A blueprint for mapping and modelling ecosystem services," *Ecosyst. Serv.*, vol. 4, pp. 4–14, Jun. 2013.
 [25] M. Martínez-Harms and P. Balvanera, "Methods for mapping ecosystem service supply: a review," *Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag.*, vol. 8, no. October, pp. 17–25, 2012.
 [26] R. Seppelt, C. F. Dormann, F. V. Eppink, S. Lautenbach, and S. Schmidt, "A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead," *J. Appl. Ecol.*, vol. 48, no. 3, pp. 630–636, Jun. 2011.
 [27] I. Palomo, B. Martín-López, and C. Montes, "Mapping ecosystem services: current trends.," *ACES 2008 A Conf. Ecosyst. Serv.*, p. 28049, 2008.
 [28] D. Codato and B. Locatelli, "Evaluación Y Mapeo De Servicios Ecosistémicos. Herramientas y Aplicaciones," *Vidasilvestre.Org.Uy*, p. 20, 2012.

- [29] B. C. Sherrouse, J. M. Clement, and D. J. Semmens, "A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services," *Appl. Geogr.*, vol. 31, no. 2, pp. 748–760, 2011.
- [30] F. Villa et al., "A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment," *PLoS ONE*, vol. 9, no. 3. 2014.
- [31] M. L. T. Cossio et al., "ECOSER - Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial," no. 2, p. 58, 2015.
- [32] M. P. Barral, "PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN PAISAJES RURALES: DESARROLLO DE CRITERIOS Y HERRAMIENTAS PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL RURAL," Tesis Doctoral. p. 149, 2014.
- [33] M. Area, CORNARE, CORANTIOQUIA, and UNAL, "Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá.," no. 652, p. 104, 2006.
- [34] M. del V. de A. Área, CTA, and S. M. Ambiente, "FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LA PRESIDENTA. Caracterización Física," no. 4800000905, p. 75, 2005.
- [35] H. Tallis et al., *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST): A Tool for Hydropower Management Natural Capital Project Align Economic Forces with Conservation Systematically - Assess multiple ecosystem services today , and in the future.* 2008.
- [36] K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, and J. P. Porter, "RUSLE: Revised universal soil loss equation," *Journal of soil and Water Conservation*, vol. 46. pp. 30–33, 1991.
- [37] C. A. Serna, J. A. García, and O. Flórez, "Análisis de Rutas de Transporte de Pasajeros Mediante la Herramienta Network Analyst de Arcgis. Caso Aplicado en la Ciudad de Medellín" *Revista de Ingenierías USBMED*, vol. 7. pp. 89–95, 2016.

Formulación de Funciones de Costo de Incertidumbre en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas dentro de una Microgrid

Ferney Sadid Molina Sanchez
Universidad Nacional de Colombia
fsmolinas@unal.edu.co

Sergio Jair Pérez Sichacá
Universidad Nacional de Colombia
sjperezs@unal.edu.co

Sergio Raul Rivera Rodriguez
Universidad Nacional de Colombia
srriverar@unal.edu.co

(Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica. Recibido el 29/09/2016. Aprobado el 13/02/2017)

Resumen. El presente artículo propone extender el concepto de costo de incertidumbre en la operación de sistemas de energía que contienen fuentes renovables (solar y eólica) a sistemas de potencia con penetración de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCHs). La extensión propuesta se logra obtener conociendo la probabilidad de distribución del caudal donde está la PCH. Para ello, se presenta el desarrollo analítico de los costos de incertidumbre en pequeñas centrales hidroeléctricas, obteniendo la probabilidad de potencia inyectada por la central y desarrollando la formulación matemática de los costos por subestimar y sobreestimar la potencia disponible. Adicionalmente, se presenta la validación de la formulación analítica a través de simulaciones de Monte Carlo, comprobando que en los dos casos (costo de incertidumbre con la fórmula analítica y valor esperado de la simulación de Monte Carlo) se llega al mismo costo de incertidumbre. Adicionalmente, se presentan los códigos que calculan el costo esperado mediante la formulación analítica obtenida y el costo esperado mediante el valor medio de los costos de la simulación de Monte Carlo.

Palabras clave. Incertidumbre, Microgrids, Monte Carlo, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

Uncertainty Cost Function Formulation in Small Hydropower Plants Inside Microgrid

Abstract. The current paper proposes to extend the concept of cost of uncertainty in the operation of energy systems containing renewable sources (like solar and wind) to power systems with penetration of small hydroelectric plants (PCHs). The proposed extension is obtained using the distribution probability of the flow where the PCH is. In order to do this, the analytical development of the uncertainty costs in small hydropower plants is presented, obtaining the probability of power injected by the plant and developing the mathematical formulation of the costs due to underestimate and overestimate the available power. Additionally, the validation of the analytical formulation is presented through Monte Carlo simulations, showing that in the two cases (cost of uncertainty with the analytical formula and expected value of the Monte Carlo simulation) the same uncertainty cost is reached. Finally, we present the codes in order to calculate the expected cost through the analytical formulation obtained and the expected cost through the average cost of the Monte Carlo simulation.

Keywords. *Uncertainty, Microgrids, Monte Carlo, Small Hydroplants.*

1. Introducción

Una Microgrid es un sistema de potencia de pequeña escala que puede operar conectada a la red o de manera independiente [1], [2]. Los elementos activos (que inyectan o consumen potencia en un instante de tiempo) que componen estos sistemas se pueden agrupar en cinco categorías: (i) generación tradicional o controlable, (ii) generación renovable o estocástica, (iii) cargas tradicionales o estocásticas, (iv) cargas controlables, y (v) sistemas de almacenamiento de energía [3], [4].

Los elementos estocásticos mencionados en el párrafo anterior pueden ser modelados con distribuciones de probabilidad que describen la disponibilidad de las fuentes primarias en el caso de los generadores, o el comportamiento o patrón de consumo en el caso de las cargas. En escenarios de alta penetración de generación estocástica los entes operadores de la red o la microgrid deben tener herramientas para definir los puntos de operación más convenientes para el sistema. Por ejemplo, la generación con energía eólica (WEG) y la generación con energía solar (PVG) tienen un comportamiento no determinístico, debido a la variación de la velocidad de viento y de la irradiación solar, respectivamente. Estas fuentes generalmente se consideran como no programables en el despacho económico (ED) de energía eléctrica en un sistema de potencia. Sin embargo, cuando una microgrid tiene mucha penetración de estas fuentes se requieren de herramientas para decidir cuánto despachar de las fuentes, y esas herramientas deben considerar la función de densidad de probabilidad (PDF) de su respectiva fuente primaria, cómo se muestra en [5] y [6].

En Colombia, dado su gran potencial de recursos hídricos, existe la posibilidad que las microgrids a implementar en el futuro cercano tengan un gran componente de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH). En estas fuentes, la fuente primaria corresponde al caudal del río donde se instala el sistema. Estos caudales también tienen una distribución de probabilidad que modela los valores posibles del caudal en diferentes instantes de tiempo. De esta manera, dada la incertidumbre causada por la incorporación de WEG, PVG y PCH en un sistema de potencia, el operador de la microgrid debe disponer de una metodología que minimice el riesgo asociado a la programación de estas fuentes variables de energía en el ED y suplir la demanda de potencia. Esta demanda puede utilizar esta minimización del riesgo y a su vez ser controlables [7], [8].

En la literatura técnica del tema se propone la metodología de costo por subestimar o sobreestimar la disponibilidad de la potencia del generador estocástico como consideración adicional en la función objetivo del ED [6], [9], [10]. El concepto de costos por subestimación ($C_{u,i}$) y sobreestimación ($C_{o,i}$) se debe a que es posible que exista diferencia entre la potencia generada disponible ($W_{av,i}$) y la potencia programada para generar ($W_{s,i}$). De esta forma cuando se tiene que la potencia

programada es menor que la potencia disponible, se tiene un costo por subestimación debido a que no se va a aprovechar toda la potencia disponible.

$$W_{s,i} < W_{av,i} \quad (1)$$

Por el contrario, si la potencia disponible es menor que la potencia programada, se genera un costo por sobreestimación, ya que la potencia no estará disponible en la fuente en todo momento.

$$W_{av,i} < W_{s,i} \quad (2)$$

Con la información anterior es posible determinar la función de costos por incertidumbre (UCF) esperado como la suma de ambos componentes.

$$UCF = C_{u,i}(W_{s,i}, W_{av,i}) + C_{o,i}(W_{s,i}, W_{av,i}) \quad (3)$$

De esta manera el presente artículo propone extender el concepto a las pequeñas centrales hidroeléctricas conociendo la probabilidad de distribución del caudal donde está el sistema. Para ello en las secciones 2 y 3, se presenta el desarrollo analítico de los costos de incertidumbre en pequeñas centrales hidroeléctricas, primero se obtiene la probabilidad de potencia inyectada por la central (sección 2) y después se obtienen la formulación matemática de los costos por subestimar y sobreestimar la potencia disponible. En la sección 4, se presenta la validación de la formulación analítica a través de simulaciones de Monte Carlo, comprobando que en los dos casos se llega al mismo costo de incertidumbre. Finalmente, en la sección 5, se presentan las conclusiones del presente estudio.

2. Probabilidad de potencia inyectada a partir de la probabilidad del caudal

Para desarrollar los conceptos de costos de incertidumbre presentados en [6], [9], [10], el primer paso es determinar una relación entre una variable física (fuente primaria de energía) y la potencia que se puede generar. Para ello, se consideraron dos opciones, la primera es manejar datos históricos de la fuente primaria para construir una relación de probabilidad; y la segunda opción es encontrar la función de densidad de probabilidad que modele los fenómenos relacionados con la cantidad de agua disponible (para el caso de PCH) para generar electricidad. En la literatura se encuentra que la función de probabilidad que más se adecúa es la Gumbel [11] [12], [13], no obstante, el desarrollo se puede extender para otras distribuciones de probabilidad. Con esta función se pueden determinar los valores posibles de caudal y también es posible encontrar una relación para la potencia generada por un generador en términos del caudal de agua disponible.

De esta manera, la función de densidad de probabilidad, usada en este estudio, para generar a partir de pequeñas centrales hidroeléctricas depende de la función de densidad de probabilidad del caudal ($f(Q)$) del río donde se encuentra el generador, esta función generalmente corresponde a una función tipo Gumbell [11] [12], [13]:

$$f(Q) = \frac{e^{\left[\frac{Q-\mu}{\sigma}\right]} e^{-e^{\left[\frac{Q-\mu}{\sigma}\right]}}}{\sigma} \quad (4)$$

donde Q corresponde al caudal de agua que le llega al generador, μ es el valor promedio y σ es la desviación media cuadrática. Adicionalmente, la relación entre el caudal de agua y la potencia activa generada por un generador hidráulico está dada por [11] [12], [13]:

$$W_{HYD} = 9.81 * \rho * \eta_t * \eta_g * \eta_m * Q * h \quad (5)$$

donde W_{HYD} corresponde a la potencia activa generada, ρ es la densidad del agua en Kg/m³, η_t es la eficiencia de la turbina hidráulica, η_g es la eficiencia del generador eléctrico, η_m es la eficiencia del acople entre la turbina y el generador, Q es el caudal en unidades de m³/s y h es la diferencia de altura en la central dada en m.

Luego se procede a aplicar la transformación lineal para obtener la distribución de probabilidad de la potencia activa generada:

$$W_{HYD}(Q) = g(Q) = \frac{(9.81 * \rho * \eta_t * \eta_g * \eta_m * h) * Q}{1} \quad (6)$$

$$g^{-1}(W_{HYD}) = \frac{Q}{(9.81 * \rho * \eta_t * \eta_g * \eta_m * h)} \quad (7)$$

$$\frac{dg^{-1}(W_{HYD})}{dW_{HYD}} = \frac{1}{(9.81 * \rho * \eta_t * \eta_g * \eta_m * h)} \quad (8)$$

Aplicando el siguiente cambio de variable es posible obtener la función de densidad de probabilidad requerida:

$$f_{W_{HYD}}(W_{HYD}) = f_G(g^{-1}(W_{HYD})) \left| \frac{dg^{-1}(W_{HYD})}{dW_{HYD}} \right| \quad (9)$$

De esta manera, se reemplaza en la función de densidad de probabilidad tipo Gumbell agrupando los valores constantes por una sola constante para simplificar la ecuación, obteniendo la distribución de la probabilidad de la potencia inyectada.

$$K = 9.81 * \rho * \eta_t * \eta_g * \eta_m * h \quad (10)$$

$$f_{W_{HYD}}(W_{HYD}) = \frac{e^{\left[\frac{(W_{HYD}/K)-\mu}{\sigma}\right]} e^{-e^{\left[\frac{(W_{HYD}/K)-\mu}{\sigma}\right]}}}{\sigma} \times \frac{1}{K} \quad (11)$$

3. Desarrollo analítico de los costos de incertidumbre en pequeñas centrales hidroeléctricas

3.1 Costo de incertidumbre por subestimación

El primer costo de penalización, como se mencionó anteriormente, se debe a la subestimación en la potencia programada, cuando es menor que la potencia disponible. La forma general para determinar este costo se muestra en la ecuación (12).

$$E\left[C_{HYD,u,i}(w_{HYD,s,i}, W_{HYD,i})\right]_{W_{HYD,\infty,i}} = \int_{w_{HYD,s,i}}^{W_{HYD,i}} c_{HYD,u,i}(W_{HYD,i} - w_{HYD,s,i}) \cdot f_{W_{HYD}}(W_{HYD,i}) \cdot dW_{HYD,i} \quad (12)$$

donde:

$$E\left[C_{HYD,u,i}(w_{HYD,s,i}, W_{HYD,i})\right] = \text{Costo por subestimación en generador } i$$

$c_{HYD,u,i}$ = coeficiente costo por subestimación del generador i

$W_{HYD,\infty,i}$ = Potencia generada máxima posible del generador i

$w_{HYD,s,i}$ = Potencia estimada de despacho del generador i

Se reemplaza la función de densidad de probabilidad y se resuelve la integral:

$$E\left[C_{HYD,u,i}(w_{HYD,s,i}, W_{HYD,i})\right]_{W_{HYD,\infty,i}} = \int_{w_{HYD,s,i}}^{W_{HYD,i}} c_{HYD,u,i}(W_{HYD,i}) \frac{e^{\left[\frac{(W_{HYD,i}/K)-\mu}{\sigma}\right]} e^{-e^{\left[\frac{(W_{HYD,i}/K)-\mu}{\sigma}\right]}}}{\sigma k} dW_{HYD,i} \quad (13)$$

Para poder realizar la integral se decide realizar los siguientes cambios de variable

$$V = e^{\left[\frac{(W_{HYD,i}/K)-\mu}{\sigma}\right]} \quad (14)$$

$$dV = e^{\left[\frac{(W_{HYD,i}/K)-\mu}{\sigma}\right]} \frac{dW_{HYD,i}}{\sigma k} \quad (15)$$

Al despejar la variable de integración

$$W_{HYD,i} = \sigma k \times \ln(V) + \mu k \quad (16)$$

$$dW_{HYD,i} = \sigma k \frac{dV}{V} \quad (17)$$

Se logra obtener esta nueva integral

$$\begin{aligned} E[C_{HYD,u,i}(W_{HYD,s,i}, V)] &= \int c_{HYD,u,i}(\sigma k \times \ln(V) + \mu k) \times \frac{V \times e^{-V}}{\sigma k} \\ &\times \sigma k \times \frac{dV}{V} \\ &- \int c_{HYD,u,i} \times w_{HYD,s,i} \times \frac{V \times e^{-V}}{\sigma k} \times \sigma k \\ &\times \frac{dV}{V} \quad (18) \end{aligned}$$

Simplificando la expresión anterior se obtiene

$$\begin{aligned} E[C_{HYD,u,i}(W_{HYD,s,i}, V)] &= c_{HYD,u,i} \left[\int \sigma k \times \ln(V) \times e^{-V} dV \right. \\ &+ \int \mu k \times e^{-V} dV \\ &\left. - \int w_{HYD,s,i} \times e^{-V} dV \right] \quad (19) \end{aligned}$$

Al resolver estas integrales se tiene como resultado:

$$\begin{aligned} E[C_{HYD,u,i}(W_{HYD,s,i}, V)] &= c_{HYD,u,i} \left[\sigma k \times (Ei(-V) - \ln(V) \times e^{-V}) \right. \\ &\left. - (\mu k \times e^{-V}) + (w_{HYD,s,i} \times e^{-V}) \right] \quad (20) \end{aligned}$$

donde Ei equivale a la Integral Exponencial, la cual es una función definida como:

$$Ei(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^t}{t} dt \quad (21)$$

Se reemplaza la variable V por la variable $W_{HYD,i}$ y los límites originales de la integral $W_{HYD,\infty,i}$ y $w_{HYD,s,i}$, después al evaluar la variable entre los límites de integración el resultado final para hallar el costo de penalización por subestimación es:

$$\begin{aligned} &E[C_{HYD,u,i}(W_{HYD,s,i}, W_{HYD,\infty,i})] \\ &= c_{HYD,u,i} \left\{ k\sigma \left[-e^{-e^{\left[\frac{(W_{HYD,\infty,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]}} \right] \ln \left(e^{\left[\frac{(W_{HYD,\infty,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]} \right) \right. \\ &+ Ei \left(-e^{\left[\frac{(W_{HYD,\infty,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]} \right) \left. \right\} \\ &+ (\mu k - w_{HYD,s,i}) \left[-e^{-e^{\left[\frac{(W_{HYD,\infty,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]}} \right] \\ &- c_{HYD,u,i} \left\{ k\sigma \left[-e^{-e^{\left[\frac{(W_{HYD,s,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]}} \right] \ln \left(e^{\left[\frac{(W_{HYD,s,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]} \right) \right. \\ &+ Ei \left(-e^{\left[\frac{(W_{HYD,s,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]} \right) \left. \right\} \\ &+ (\mu k - w_{HYD,s,i}) \left[-e^{-e^{\left[\frac{(W_{HYD,s,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]}} \right] \quad (22) \end{aligned}$$

3.2 Costo de incertidumbre por sobrestimación

El siguiente costo de penalización se debe a la sobrestimación, en donde la potencia programada es mayor que la potencia disponible. La relación que permite calcular dicho costo se muestra en la ecuación (23).

$$\begin{aligned} &E[C_{HYD,o,i}(W_{HYD,s,i}, W_{HYD,i})] \\ &= \int_0^{w_{HYD,s,i}} c_{HYD,o,i}(W_{HYD,s,i} - W_{HYD,i}) \\ &\cdot f_{W_{HYD}}(W_{HYD,i}) \cdot dW_{HYD,i} \quad (23) \end{aligned}$$

donde

$$\begin{aligned} &E[C_{HYD,o,i}(W_{HYD,s,i}, W_{HYD,i})] \\ &= \text{Costo por sobrestimación en generador } i \end{aligned}$$

$c_{HYD,o,i}$
= coeficiente costo por sobrestimación del generador i

$$w_{HYD,s,i} = \text{Potencia estimada de despacho}$$

Se reemplaza la función de densidad de probabilidad en la ecuación (22):

$$E[C_{HYD,o,i}(w_{HYD,s,i}, W_{HYD,i})] = \int_0^{W_{HYD,s,i}} c_{HYD,o,i}(W_{HYD,s,i} - w_{HYD,i}) \frac{e^{-\left[\frac{(W_{HYD,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]} e^{-\left[\frac{(W_{HYD,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]}}{\sigma k} dW_{HYD,i} \quad (24)$$

De nuevo se realiza el mismo cambio de variable del caso anterior:

$$V = e^{\left[\frac{(W_{HYD,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]} \quad (25)$$

$$dV = e^{\left[\frac{(W_{HYD,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]} \frac{dW_{HYD,i}}{\sigma k} \quad (26)$$

$$W_{HYD,i} = \sigma k \times \ln(V) + \mu k \quad (27)$$

$$dW_{HYD,i} = \sigma k \frac{dV}{V} \quad (28)$$

Se logra obtener esta nueva integral

$$E[C_{HYD,o,i}(w_{HYD,s,i}, V)] = \int c_{HYD,o,i} \times w_{HYD,s,i} \times \frac{V \times e^{-V}}{\sigma k} \times \sigma k \times \frac{dV}{V} - \int c_{HYD,o,i} (\sigma k \times \ln(V) + \mu k) \times \frac{V \times e^{-V}}{\sigma k} \times \sigma k \times \frac{dV}{V} \quad (29)$$

Al resolver estas integrales se obtiene

$$E[C_{HYD,o,i}(w_{HYD,s,i}, V)] = c_{HYD,o,i} [(\mu k \times e^{-V}) - \sigma k \times (Ei(-V) - \ln(V) \times e^{-V}) - (w_{HYD,s,i} \times e^{-V})] \quad (30)$$

Repetiendo el mismo proceso de cambio de variables originales y evaluando en los límites de integración $w_{HYD,s,i}$ y 0 similar al caso anterior, la ecuación para hallar el costo por sobreestimación es:

$$E[C_{HYD,o,i}(w_{HYD,s,i}, W_{HYD,i})] = c_{HYD,o,i} \left\{ (w_{HYD,s,i} - \mu k) \left[-e^{-e^{\left[\frac{(W_{HYD,s,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]}} \right] - k\sigma \left[-e^{-e^{\left[\frac{(W_{HYD,s,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]}} \ln \left(e^{\left[\frac{(W_{HYD,s,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]} \right) + Ei \left(-e^{\left[\frac{(W_{HYD,s,i}/k)-\mu}{\sigma}\right]} \right) \right] \right\} - c_{HYD,o,i} \left\{ (w_{HYD,s,i} - \mu k) \left[-e^{-e^{\left[\frac{(0/k)-\mu}{\sigma}\right]}} \right] - k\sigma \left[-e^{-e^{\left[\frac{(0/k)-\mu}{\sigma}\right]}} \ln \left(e^{\left[\frac{(0/k)-\mu}{\sigma}\right]} \right) + Ei \left(-e^{\left[\frac{(0/k)-\mu}{\sigma}\right]} \right) \right] \right\} \quad (31)$$

4. Validación de formulación analítica con simulación de Monte Carlo

Para la validación de la formulación matemática propuesta se plantea realizar una simulación de Monte Carlo. En el código de validación utilizado, adjunto en el anexo uno de este artículo, se encuentra un ejemplo numérico de estos costos de subestimación y sobreestimación hallados analíticamente (formulas 23 y 30), comparados con los costos hallados con simulación de Monte Carlo.

Para esto se generaron quinientos mil distintos valores de caudal siguiendo la función de densidad de probabilidad Gumbell y hallando las potencias que generaban cada uno de estos caudales. Cada potencia generada se comparaba con la potencia estimada y se multiplicaba con su respectivo factor de estimación o sobreestimación dependiendo si esta potencia era mayor o menor. Los valores de las variables que se utilizaron en las formulas anteriores se muestran en la Tabla 1, correspondientes a valores típicos de pequeñas centrales hidroeléctricas.

De esta manera se pueden obtener los histogramas para el caudal, la potencia generada, los costos por sobreestimación, subestimación y costo de incertidumbre para los diferentes escenarios de la simulación de Monte Carlo (Figuras 1 a 5).

Tabla 1. Valores de las variables utilizadas en las simulaciones

| Var. | Descripción | Valor Numérico | Unidad |
|----------|--|----------------|-------------------|
| ρ | Densidad del agua | 1000 | Kg/m ³ |
| η_t | Eficiencia de la turbina hidráulica | 0.9 | ----- |
| η_g | Eficiencia del generador eléctrico | 0.95 | ----- |
| η_m | Eficiencia del acople mecánico turbina-generador | 0.98 | ----- |
| h | Altura de la presa | 20 | m |
| μ | Valor promedio del caudal | 15.23 | m ³ /s |
| Σ | Desviación media estándar del caudal | 1.15 | m ³ /s |
| C_u | Coeficiente subestimado | costo 30 | \$/MW |
| C_o | Coeficiente sobrestimación | costo 70 | \$/MW |

La comprobación se realizó para un solo valor numérico de la potencia programada, para este caso 2.5 MW, obteniéndose los siguientes costos por incertidumbre para el caso analítico (suma de fórmulas 22 y 31) y simulación de Monte Carlo (valor esperado de la Figura 5), obteniéndose un error del menos de uno por ciento (0.0615 %):

$$\text{Costo_Analitico } (\$) = 1.1663e+07$$

$$\text{COSTOESPERADO_Montecarlo } (\$) = 1.1656e+07$$

Adicionalmente, se procedió a realizar un análisis de sensibilidad con el fin de determinar la variación del costo de incertidumbre con el valor de la potencia programada. El análisis realizado va orientado a pequeñas centrales hidroeléctricas (PCHs), cuyo rango de generación de potencia se encuentra entre 500 kVA y 5 MVA. Se tomaron valores de potencia que se encontraran entre dichos límites y con el programa que se usó anteriormente se procedió a determinar los costos de incertidumbre mediante los dos métodos. En la Figura 6 se encuentran la gráfica que muestra el comportamiento de los costos ante cambios en la potencia programada.

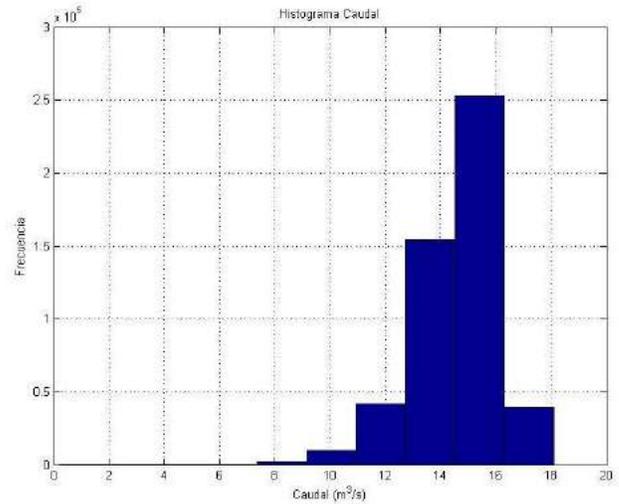


Figura 1. Distribución de caudal.

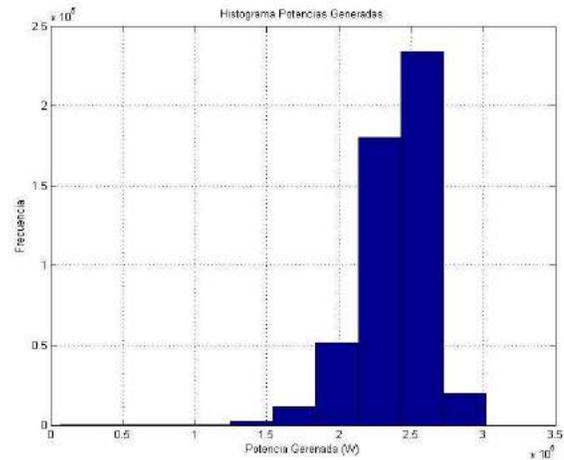


Figura 2. Distribución de potencia generada.

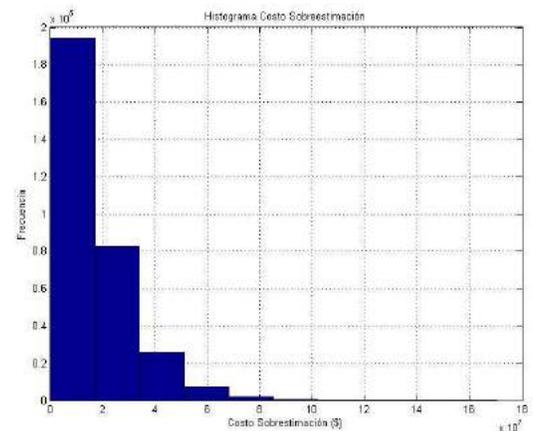


Figura 3. Distribución costo sobrestimación

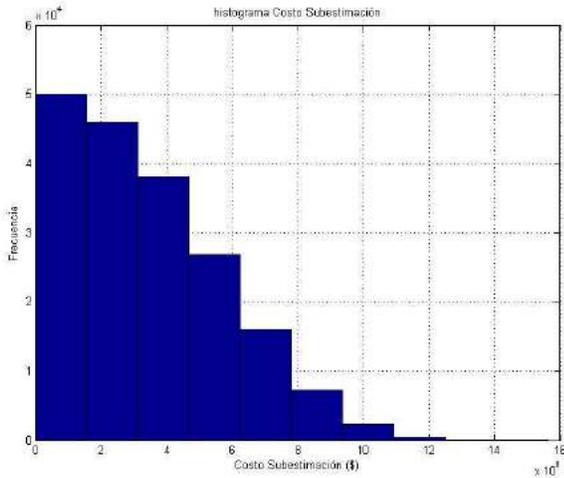


Figura 4. Distribución costo Subestimación.

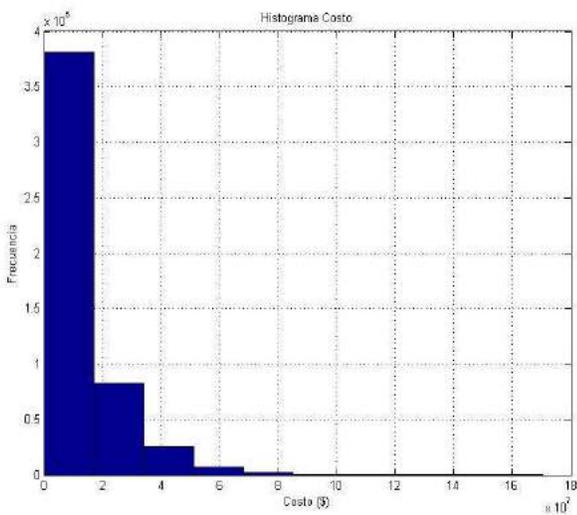


Figura 5. Distribución costo de incertidumbre.

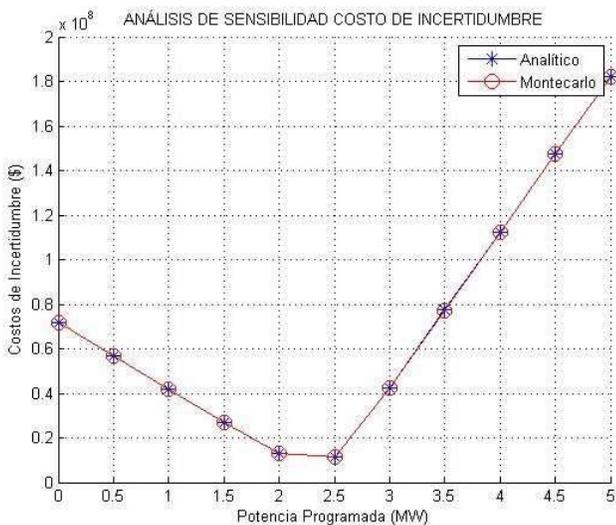


Figura 6. Análisis de Sensibilidad para el costo de incertidumbre en términos de la potencia programada.

En el análisis de sensibilidad mostrado en la Figura 6, es posible apreciar un comportamiento parabólico del costo de incertidumbre. Este comportamiento indica que el costo disminuirá a medida que crece la potencia programada en la pequeña central hidroeléctrica hasta alcanzar un mínimo, después de ese mínimo el costo de incertidumbre se incrementará a medida que aumenta la potencia programada. En primera instancia, se podría pensar que el despacho de la PCH correspondería al mínimo mencionado, pero en un problema de despacho económico integral puede ser que a la red le convenga que el nodo donde está la PCH despache un valor diferente al del costo de incertidumbre mínimo

5. Conclusión

Este artículo propone una formulación matemática para modelar el costo de incertidumbre en la operación de una pequeña central hidroeléctrica, partiendo de las formulaciones propuestas para sistemas solares y eólicos. Esta formulación puede ser agregada en las funciones objetivo de la operación de las microgrids y obtener puntos de operación que más le convenga a la red desde el punto de vista económico y técnico.

La importancia de la formulación propuesta se debe a que en el futuro próximo los sistemas de potencia tendrán una alta penetración de energías renovables y generación distribuida (por ejemplo, mediante PCHs). Este tipo de energía tiene asociada una alta incertidumbre debido a la naturaleza de la fuente primaria de energía. Las primeras aproximaciones de sistemas con mayoría de energías renovables serán las microgrids. Para operar estos sistemas, los operadores de red deberán contar con herramientas que determinen los mejores puntos de operación para la red de las fuentes renovables. Esas herramientas de optimización deben considerar la naturaleza de las fuentes y por ende modelar de alguna manera la incertidumbre asociada. De esta manera la formulación propuesta da una herramienta para valorar el costo de incertidumbre específicamente cuando estamos hablando de generación distribuida mediante PCHs.

Anexo 1. Código de Validación

```

%% Codigo Articulo:
%% Formulación de Funciones de Costo de
Incertidumbre en Pequeñas
%% Centrales Hidroeléctricas dentro de una
Microgrid

%% Ferney Sadid Molina Sanchez
%% Sergio Jair Pérez Sichacá
%% Sergio Raúl Rivera Rodriguez

clear
clc

%Q=caudal
%u=valor promedio de caudal
%s=desviacion media cuadratica
%p=densidad agua
%nt=eficiencia_turbina
%ng=eficiencia_generator
%nm=eficiencia_acople_turbina_generator
%h=altura_presa
    
```

```

N=500000; %numero de pruebas

p=1000; %p=densidad agua
nt=0.9; %nt=eficiencia_turbina
ng=0.95; %ng=eficiencia_generador
nm=0.98;
%nm=eficiencia_acople_turbina_generador
h=20; %h=altura_presa
mu=15.23; %mu=valor promedio
sig=1.15; %sig=desviacion media cuadratica

Ps=2.5e6; %potencia estimada
Cu=30; %coeficiente costo subestimado
Co=70; %coeficiente costo sobreestimado

Winf=3e6; %potencia máxima
Wa=Ps;
%Wa=Ps=Potencia_programada_despacho_economico

u=mu;
s=sig;

k=9.81*p*nt*ng*nm*h;

%% costo subestimación

Cua=Cu*(k*s*(-exp(-exp(((Winf/k)-
u)/s))*log(exp(((Winf/k)-u)/s))...
+ei(-exp(((Winf/k)-u)/s)))+(u*k-Wa)*(-exp(-
exp(((Winf/k)-u)/s))...
-Cu*(k*s*(-exp(-exp(((Wa/k)-
u)/s))*log(exp(((Wa/k)-u)/s)))+...
ei(-exp(((Wa/k)-u)/s)))+(u*k-Wa)*(-exp(-
exp(((Wa/k)-u)/s))))

%% costo sobreestimación

Coa=Co*((Wa-u*k)*(-exp(-exp(((Wa/k)-u)/s))-
k*s*(-exp(-exp(((Wa/k)-u)/s))...
*log(exp(((Wa/k)-u)/s))+ei(-exp(((Wa/k)-
u)/s))))-Co*((Wa-u*k)*...
(-exp(-exp(((0/k)-u)/s)))-k*s*(-exp(-
exp(((0/k)-u)/s))*...
log(exp(((0/k)-u)/s))+ei(-exp(((0/k)-u)/s))))

Costo_Analitico=Cua+Coa

%% costo montecarlo

CU=[];
CO=[];
W=[];
ii=1;
iii=1;

for i=1:N

    Q(i)=evrnd(mu,sig);

    W(i)=Q(i)*k;

    if(Ps<W(i))
        CU(ii)=Cu*(W(i)-Ps);
        ii=ii+1;
    else
        CO(iii)=Co*(Ps-W(i));
        iii=iii+1;
    end
end

```

```

figure(1)
hist(W)
title('Histograma Potencias Generadas')

figure(2)
hist(Q)
title('Histograma Caudal')

figure(3)
hist(CO)
title('Histograma Costo Sobreestimación')

figure(4)
hist(CU)
title('Histograma Costo Subestimación')

figure(5)
Costo=[CU CO];
hist(Costo)
title('Histograma Costo')

COSTOESPERADO_Montecarlo=mean(Costo)

```

6. Referencias

- [1] M. Hashempour, J. Savaghebi, J. Vasquez y J. Guerrero, «A Control Architecture to Coordinate Distributed Generators and Active Power Filters Coexisting in a Microgrid.» IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, n° 5, pp. 2325-2336, 2016.
- [2] F. Dörfler, J. Simpson-Porco y F. Bullo, «Breaking the Hierarchy: Distributed Control and Economic Optimality in Microgrids.» IEEE Transactions on Control of Network Systems, vol. 3, n° 3, pp. 241-253, 2016.
- [3] S. Rivera, A. Farid y K. Youcef-Toumi, «A multi-agent system transient stability platform for resilient self-healing operation of multiple microgrids.» de Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), 2014 IEEE PES, Washington, DC, 2014.
- [4] S. Rivera, A. Farid y K. Youcef-Toumi, «An Intelligent Multi-Agent Based Architecture for Resilient Self-Healing Operation of Multiple Microgrids.» de Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry, Amsterdam, Elsevier, 2015, pp. 269-286.
- [5] T. Chang, «Investigation on Frequency Distribution of Global Radiation Using Different Probability Density Functions.» International Journal of Applied Science and Engineering, vol. 8, n° 2, pp. 99-107, 2010.
- [6] J. Hetzer, D. Yu y K. Bhattachai, «An Economic Dispatch Model Incorporating Wind Power.» IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 23, n° 2, pp. 603-611, 2008.
- [7] V. Nava, R. Fabelo y J. Romero, «Automatización de procesos en la administración de energía eléctrica en el área residencial.» INGENIERIAS USBMED, vol. 6, n° 1, pp. 13-23, 2015.
- [8] J. Coello, S. Pool y R. Fabelo, «Control difuso de STATCOM para la regulación del factor de potencia en una red eléctrica.» INGENIERIAS USBMED, vol. 4, n° 2, pp. 55-61, 2013.
- [9] S. Haddi y T. Bouktir, «Economic/Emission dispatch including wind power using ABC-Weighted-Sum.» International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR), vol. 3, n° 10, pp. 61-66, 2015.
- [10] Y. Yao, W. Gao, J. Momoh y E. Muljadi, «Economic Dispatch for Microgrid Containing Electric Vehicles via Probabilistic Modeling.» de North American Power Symposium, Charlotte, North Carolina, October 4-6, 2015.
- [11] R. Montanari, «Criteria for the economic planning of a low power hydroelectric plant.» Renewable Energy, vol. 28, pp. 2129-2145, 2003.
- [12] P. Cabus, «River flow prediction through rainfall-runoff modelling with a probability-distributed model (PDM) in Flanders, Belgium.» Agricultural Water Management, vol. 95, n° 7, pp. 859-868, 2008.
- [13] N. Mujere, «Flood Frequency Analysis Using the Gumbel Distribution.» International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSSE), vol. 3, n° 7, pp. 2774-2778, 2011.

Producción de Bioetanol a partir de *Elodea sp.*

Tatiana Marulanda López
Programa de Ingeniería Ambiental.
Universidad de San Buenaventura-
Medellín
tmarulandalopez@gmail.com

Luisa Fernanda Zapata Osorno
Programa de Ingeniería Ambiental.
Universidad de San Buenaventura-
Medellín
luisafda-16@hotmail.com

María Consuelo Jaramillo Flórez
Programa de Ingeniería Ambiental.
Universidad de San Buenaventura-
Medellín
mariac.jaramillo@usbmed.edu.co

(Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica. Recibido el 30/09/2016. Aprobado el 13/02/2017)

Resumen. La dependencia de los países a los combustibles fósiles es cada vez mayor, pero estos no son renovables. Además, el uso de estos combustibles ha aumentado la emisión de gases de efecto invernadero. Colombia debe empezar a buscar otras alternativas que suplan la deficiencia en combustible, y cuya fuente de obtención sea renovable y no comprometa los recursos agrícolas usados como alimentos, tal es el caso de la caña de azúcar. Las plantas invasoras se caracterizan por producir eutrofización de las aguas, ocasionando problemas ambientales y de abastecimiento de agua a las ciudades. El manejo que se hace de esta planta es erradicarla usando diferentes métodos. En este artículo se muestra el aprovechamiento de la planta invasora de cuerpos acuáticos, *Elodea sp.*, para la obtención de bioetanol. Después de la hidrólisis de los carbohidratos, la detoxificación, y la fermentación, la planta mostró un alto rendimiento en la producción de bioetanol. Este trabajo es la base para el desarrollo del bioproceso, usando como sustrato el material lignocelulítico, y además, es una alternativa para el manejo de la planta *Elodea sp.* como fuente de energía carburante.

Palabras clave. Bioetanol, Detoxificación, *Elodea sp.*, fermentación, Levadura, *Saccharomyces cerevisiae*.

Production of Bioethanol from Elodea sp.

Abstract. The dependence of countries on fossil fuels is increasing, but these are not renewable. In addition, the use of these fuels has increased the emission of greenhouse gases. Colombia must begin to look for other alternatives that overcome the deficiency in fuel, and whose source of production is renewable and this alternative does not compromise the agricultural resources used as food, such is the case of sugar cane. Invasive plants are characterized by eutrophication of water, causing environmental and water supply problems to the cities. The management of this plant is to eradicate it using different methods. This article shows the use of the invading plant of aqueous bodies, *Elodea sp.*, for the production of bioethanol. After hydrolysis of carbohydrates, detoxification, and fermentation, the plant showed a high yield in the production of bioethanol. This work is the basis for the development of the bioprocess, using lignocellulose material as a substrate and, in addition, it is an alternative for the management of the *Elodea sp.* as a source of fuel energy.

Keywords. Bioethanol, detoxification, *Elodea sp.*, fermentation, yeast, *Saccharomyces cerevisiae*.

1. Introducción

Existen diferentes fuentes de energía: solar, eólica, geotérmica, de hidrógeno y biomasa, que son usadas para suplir la demanda energética a nivel mundial. Los combustibles fósiles como el petróleo, el diésel o el aceite crudo son recursos no renovables. Uno de los mayores problemas económicos a nivel mundial y regional es la importación de petróleo y sus derivados, debido a que muchos países son dependientes de estos recursos y por ende de los países que los producen. El aumento del costo y la disminución de los combustibles fósiles, además de la inestabilidad política en muchos países, obliga a que se busquen alternativas de obtención de energía [1], [2], [3]. El mayor reto a nivel mundial, además de buscar alternativas para sustituir los combustibles fósiles, es reducir las emisiones de los gases emitidos por estos, conservar el medio ambiente, y contribuir al desarrollo socioeconómico en áreas rurales [1]. Los combustibles fósiles emiten gases como CO, CO₂, NO_x, e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, PAH [1], [2], [3]. Las altas concentraciones de NO_x causan neumonía, irritación pulmonar, edemas, asma y bronquitis. Las emisiones de CO desarrollan tumores en niños y fetos. Las emisiones de PAH aumentan la morbilidad de personas con problemas respiratorios. Los PAH producen somnolencia, irritación ocular, flujo nasal y tos. Las enfermedades pulmonares son causadas por hidrocarburos originados de la combustión de diésel. El ozono troposférico, originado por la combustión de NO_x y compuestos orgánicos volátiles de la combustión del diésel, afecta la salud y causa daños al ecosistema, representado en necrosis del tejido vegetal, además de causar daño a los seres humanos. La acidificación de las lluvias es causada por las emisiones de los NO_x y de sulfuro cuando reaccionan con el vapor de agua de la atmósfera, formando ácido nítrico, ácido nitroso, ácido sulfúrico, ácido sulfhídrico, estos ácido perjudican la vegetación, los materiales con los que se construyen los edificios produciendo un envejecimiento de estos, y los ecosistemas acuáticos y terrestres en general [2], [3], [4], [5], [6].

La bioenergía se presenta como una opción para mitigar el cambio climático, y, además, como fuente renovable que puede reemplazar los combustibles fósiles en el mercado energético, usando la bioenergía en la producción de calor, electricidad, y combustible para el transporte. La fuente para la producción de esta bioenergía o biocombustible se basa, en la actualidad, en la utilización de fuentes de alimentos como caña de azúcar, maíz, trigo, papa, etc, cuyo proceso está bien definido y completamente comercializado [7]. En lo que respecta a Colombia, el alcohol carburante que se produce, proviene exclusivamente del procesamiento de caña de azúcar del Valle Geográfico del Río Cauca, una zona rica cañera a nivel mundial [8]. Una amplia variedad de tecnologías de conversión están siendo construidas, que son de bajo costo y amigables con el medio ambiente [9], [10].

Existen algunas plantas denominadas plantas invasoras acuáticas. Estas se caracterizan por crecer en medios acuosos, y rápidamente se distribuyen por todo el sistema, provocando pérdida de la biodiversidad y ruptura de la funcionalidad del ecosistema, ya que disminuye la riqueza, densidad y biodiversidad de las plantas nativas, aumenta la mortalidad de animales acuáticos por eutrofización de las aguas, y ocasiona problemas en el abastecimiento del agua a las ciudades, en caso de encontrarse en represas [11]. La *Elodea* sp. es una planta acuática considerada invasora en muchas partes del mundo, debido al rápido crecimiento que tiene en aguas frías de climas tropicales, pues sus raíces están en la capacidad de crecer en cualquier parte del tallo, permitiéndole sujetarse con facilidad del suelo [12], [13], [14], [15]. Debido a los problemas ecológicos y económicos que esta planta crea, se han implementado varios métodos de control, tales como reducción de nutrientes en el medio, métodos mecánicos como corte, dragado, y métodos biológicos como introducción de peces herbívoros, o aplicando herbicidas [12]. Esta planta ha sido usada para remediar metales pesados, y una alternativa de utilización de esta planta es como fuente de obtención de bioetanol [16], [17], [18], [19].

La planta *Elodea* sp. es considerada una plaga al obstruir los sistemas de drenaje [19], por lo que este trabajo muestra una alternativa de utilización de esta planta, y el rendimiento del proceso de fermentación de la planta *Elodea* sp. en la obtención de bioetanol.

2. Metodología

La metodología consistió en secar la planta, obtener los azúcares fermentables detoxificados, someter a fermentación y analizar el contenido de etanol obtenido por espectrofotometría [20], [21], [22], [23]. El etanol glucosa, sacarosa, fenol, K₂Cr₂O₇, NaOH anhidro, H₂SO₄ y los demás reactivos fueron adquiridos grado reactivo.

2.1 Microorganismo

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* deshidratada fue obtenida comercialmente en la ciudad.

2.2 Medio de Fermentación

El medio de fermentación contenía: glucosa 75 g/L; NH₄Cl 10 g/L; NaH₂PO₄ 0,5 g/L; NaCl 0,4 g/L; MgCl₂*6H₂O 0,35 g/L; CaCl₂*2H₂O 0,05 g/L; levadura 15 g/L. Se calentó a 303K y el pH fue llevado entre 5 y 6.

2.3 Recolección, acondicionamiento e hidrólisis de la lignocelulosa

La planta *Elodea* sp. fue adquirida en una represa del oriente Antioqueño, fue secada a 323 K por 24 h y triturada.

Se tomaron 60.0 g de material vegetal y se sometieron al calentamiento en soxhlet por 2 h en una solución de H₂SO₄ 0.1 mol/L. La mezcla obtenida se detoxifica para eliminar compuestos fenólicos.

2.4 Detoxificación de los azúcares fermentables

La solución hidrolizada anteriormente obtenida se calentó a 333 K, se le adicionó NaOH hasta pH 8.0 y se agregó $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sólido hasta pH 10, para precipitar compuestos inhibidores de la levadura. La solución detoxificada se filtró y se llevó a pH entre 5 y 6.

2.5 Etapa de fermentación

Se preparó la fermentación de la planta *Elodea* sp. con la solución de azúcares fermentables detoxificada y el medio de fermentación hasta un volumen total de 300 mL de tal forma que la concentración de levadura fuera 0.1g/mL. Se dejó incubar por 2 días a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo se filtró el fermento, para someterlo a destilación. La fermentación se realizó por triplicado. La fermentación control se preparó adicionando agua en vez del extracto de la planta. El control se realizó por triplicado.

2.6 Determinación de carbohidratos

Se determinó por espectrofotometría (espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific), midiendo el color generado por el hidroximetilfurfural, HMF, a 430 nm, que se forma al mezclar la solución de fenol al 0.05g/mL y H_2SO_4 concentrado a la solución de azúcares. La curva de calibración se realiza preparando una solución stock compuesta por 1 g/mL de glucosa y 1 g/mL de sacarosa, y realizando diluciones sucesivas. Cada dilución de carbohidrato y la reacción se prepararon por triplicado.

2.7 Determinación de la concentración de bioetanol

Se determinó usando el método espectrofotométrico indirecto, por determinación de Cr^{3+} a 600 nm, por reacción de oxidación de 10 ml de bioetanol destilado con 5 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a 0.5mol/L y 2 mL H_2SO_4 concentrado a 333 K por media hora. La curva de calibración del etanol se realizó a partir de una solución stock de 0.1 mL etanol/mL solución de etanol, con diluciones sucesivas. Cada dilución se preparó por triplicado. Las lecturas se realizaron por triplicado a 301 K.

2.8 Análisis estadístico

Los resultados de la curva de calibración de carbohidratos y etanol, y de las muestras de la concentración de etanol y de carbohidratos en la fermentación y en la muestra detoxificada se presentaron como la Media \pm SEM del triplicado de las muestras. Los datos fueron analizados usando el test de análisis de varianza de Student Newman Keuls con GraphPad Prism 5,0 (GraphPad software, 2.007, San Diego, CA, USA). El valor de P menor de 0.05 fue considerado como significativo.

3. Resultados y discusión

3.1 Determinación de las curvas de calibración de carbohidratos y etanol

La curva de calibración se realizó graficando la absorbancia vs la concentración de carbohidratos. La Figura 1, muestra la gráfica de la curva de calibración de carbohidratos, de donde se obtiene la ecuación.

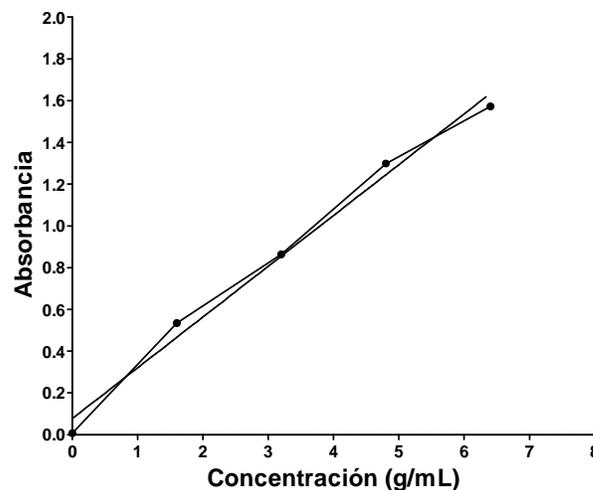


Figura 1. Curva de calibración de carbohidratos

La ecuación (1) muestra la curva de calibración de carbohidratos, para la obtención de la concentración de carbohidratos después de la detoxificación de los azúcares fermentables obtenidos de la planta *Elodea* sp. La curva de calibración arroja un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.9893$, con un valor de P menor de 0.0005, lo que es considerado como significativo.

La curva de calibración de etanol se realizó graficando la Absorbancia vs la concentración de etanol. La Figura 2, muestra la gráfica de la curva de calibración de etanol.

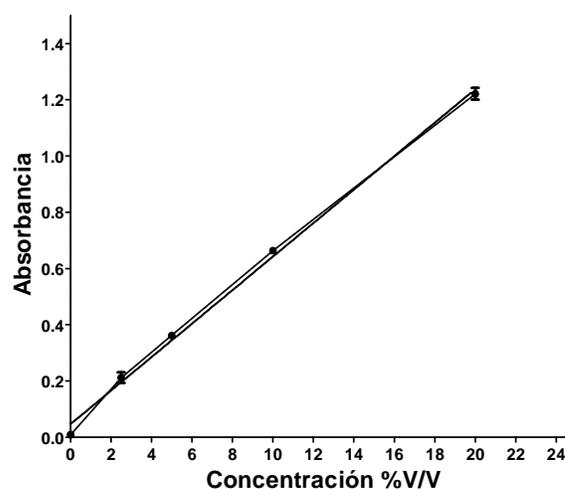


Figura 2. Curva de calibración de etanol

La ecuación (2) muestra la curva de calibración de etanol para la obtención de la concentración de bioetanol obtenido de la fermentación de la planta. Esta ecuación

arrojó un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.9969$, con un valor de P menor de 0.0001, lo que es considerado como significativo.

$$Y = (0.2431 \pm 0.01457)X + (0.07735 \pm 0.05712) \quad (1)$$

$$Y = (0.05955 \pm 0.001906)X + (0.04698 \pm 0.01964) \quad (2)$$

3.2 Determinación de la concentración de carbohidratos y etanol

Las concentraciones de etanol obtenido en el proceso, y carbohidratos residuales se hallaron con las ecuaciones de las curvas de calibración. Antes de realizar la fermentación se determinó la concentración de carbohidratos en el extracto fermentable detoxificado. De acuerdo a las anteriores ecuaciones se obtuvo que la concentración de azúcares fermentables de la planta después de la detoxificación de la solución de *Elodea* sp. fue 1.96 g/mL, como se muestra en la Tabla 1, y la concentración de etanol obtenido fue 0.18%(V/V), obtenido por la resta entre la concentración de etanol de la planta y el control.

Tabla 1. Concentración de carbohidratos y etanol

| Muestra | Concentración |
|--|---------------------|
| Concentración de Carbohidratos del Control (g/mL) | 1.2237 \pm 0.1236 |
| Concentración de Carbohidratos después de la detoxificación de la <i>Elodea</i> sp. (g/mL) | 1.96 \pm 0.0584 |
| Concentración de Etanol producido por la fermentación del control (%V/V) | 4.3981 \pm 0.0412 |
| Concentración de Etanol producido por la fermentación de la planta (%V/V) | 4.5782 \pm 0.2300 |
| Concentración de etanol producido por la planta <i>Elodea</i> sp. (%V/V) | 0.18 |
| Rendimiento de la fermentación | 14.0% |

El rendimiento en el proceso de fermentación de la planta *Elodea* sp. fue del 14.0% después del proceso de fermentación. Este fue determinado con la relación entre la concentración de etanol producido por la planta *Elodea* sp. y el etanol teórico que se hubiese producido por la concentración de carbohidratos en la planta después de la detoxificación, que para este caso sería 1.2738 mL etanol/mL solución.

El rendimiento en la fermentación es el esperado teniendo en cuenta la concentración de carbohidratos iniciales de la planta y el contenido de carbohidratos que tiene las plantas acuáticas. La concentración de carbohidratos solubles y almidón reportados en la planta *Elodea nuttalli* varía de acuerdo a la época del año, se reporta entre 4 mg/g de peso seco y 19 mg/g de peso seco de carbohidratos, y entre 3 mg/g y 37 mg/g de peso seco de almidón [24], además la concentración de carbohidratos solubles varía de acuerdo a la concentración de urea del medio en el que se encuentra la planta, alcanzando una concentración máxima de 20 mg/g de peso seco al estar en un medio que contiene 5 mg/L de urea [25]. El contenido de proteína es mayor en estas plantas, 367 mg/g de peso seco, y depende

igualmente del mes del año en el cual se determine [24], por lo tanto es usada como fuente de nutrición [26].

La cantidad de agua obtenida en el proceso de destilación es un factor importante a tener en cuenta para la determinación de la concentración de etanol carburante, el etanol debe ser sometido a secado para la lectura de la concentración en el espectrofotómetro, y por ende para ser utilizado como biocombustible.

El contenido de lignina que contiene la planta debería ser hidrolizada para aumentar el rendimiento en el proceso de fermentación. La hidrólisis ácida usada en este método poco solubiliza la lignina por lo cual se somete a hidrólisis básica. La lignina está compuesta por derivados del alcohol cumarílico, compuestos tóxicos para la levadura, por lo que se deben precipitar [22]. La hidrólisis ácida solubiliza y despolimeriza la celulosa y le hemicelulosa convirtiéndose en la fuente de sustrato para la levadura [22].

Después de los dos días de fermentación se determinó la concentración de carbohidratos en el control y en la planta. La Tabla 2 muestra la concentración de carbohidratos sin fermentar del control y de la planta después de la fermentación.

Tabla 2. Concentración de carbohidratos después de la fermentación.

| Muestra | Concentración (g/mL) |
|---|----------------------|
| Concentración de Carbohidratos del Control | 0.0023 \pm 0.0434 |
| Porcentaje de carbohidratos no fermentados en el control | 0.19% |
| Concentración de carbohidratos en la planta <i>Elodea</i> sp. | 0.4374 \pm 0.0282 |
| Porcentaje de carbohidratos no fermentados en la planta <i>Elodea</i> sp. | 22% |

El porcentaje de carbohidratos en el control y en los azúcares fermentables, después de la fermentación, se calculó comparando los resultados con la concentración de carbohidratos iniciales, antes de la fermentación. Para el caso del control solo quedó el 0.19% de carbohidratos sin fermentar después de dos días de fermentación, y el porcentaje de azúcares no fermentados en la planta *Elodea* sp. fue del 22%. Estos resultados muestran que el tiempo de fermentación no fue suficiente o la capacidad fermentadora de la levadura no es suficiente. Se requiere una mayor activación de la herramienta bioquímica de la levadura antes de ser sometida a las condiciones del experimento.

Es de destacar que el producto de la fermentación es tóxico para la levadura [15], lo que se debe tener en cuenta para el rediseño de la fermentación, y explicaría el exceso de carbohidratos sin fermentar al final del proceso. El mismo producto del metabolismo de la levadura es el responsable de la inhibición de esta, y por consiguiente de la fermentación. Además, hasta ahora no se reporta el uso de esta planta como fuente de bioetanol. El contenido químico de las plantas depende

del sitio y de la época de recolección, habría que recolectar esta planta de otras zonas acuíferas para determinar el rendimiento en el proceso de fermentación en la obtención de la concentración de bioetanol [24].

4. Conclusiones

La crisis que la industria del petróleo enfrenta en la actualidad obliga a que todos los países busquen nuevas alternativas para la obtención de energía.

El porcentaje de etanol obtenido en el proceso de fermentación de la planta *Elodea* sp. muestra a esta planta como potencial fuente de obtención de biocombustible.

Se debe tener en cuenta la cantidad de agua obtenida en el proceso de destilación, ya que el poder carburante del etanol aumenta en ausencia de agua, lo que obliga a la búsqueda de métodos de destilación y procesos de secado más óptimos, donde se obtenga menor cantidad de agua.

Nuestro grupo de investigación continúa en la búsqueda de alternativas renovables de obtención de biocombustibles y en la optimización del proceso de fermentación, y así contribuir al desarrollo de nuestro país.

5. Trabajos futuros

Este trabajo presenta como alternativa de obtención de biocombustible, el uso de la planta *Elodea* sp. Para obtener un mayor rendimiento en la obtención de biocombustible se diseñará un biorreactor para optimizar la fermentación. La levadura se inmovilizará en un soporte apropiado, con el fin de que el mismo etanol obtenido en la fermentación y los compuestos tóxicos originados en el proceso, no afecte la viabilidad de la levadura.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Universidad de San Buenaventura Medellín, por el apoyo en este trabajo.

7. Referencias

- [1] Azad, A.K. M.G. Rasul, M.M.K. Khan, Subhash C. Sharma, M.A. Hazrat. «Prospect of biofuels as an alternative transport fuel in Australia.» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 43, pp. 331-351, 2015.
- [2] Mofijur, M. M.G. Rasul, J. Hyde, M.M.K. Bhuyia. «Role of Biofuels on IC Engines Emission Reduction.» *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 886-892, 2015.
- [3] Mofijur, M., M.G. Rasul, J. Hyde, A.K. Azad, R. Mamat, M.M.K. Bhuyia. «Role of biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction.» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 265-278, 2016.
- [4] Laj, P., J. Klausen, M. Bilde, C. Plaß-Duelmer, G. Pappalardo, C. Clerbaux, U. Baltensperger, J. Hjorth, D. Simpson, S. Reimann, P.-F. Coheur, A. Richter, M. De Maziere, Y. Rudich, G. McFiggans, K. Torseth, A. Wiedensohler, S. Morin, M. Schulz, et al. «Measuring atmospheric composition change.» *Atmospheric Environment*, vol. 43, p. 5351–5414, 2009.
- [5] Holopainen, Riikka Rinnan and Toini. «Ozone Effects on the Ultrastructure of Peatland Plants: Sphagnum Mosses, Vaccinium oxycoccus, Andromeda polifolia and Eriophorum vaginatum.» *Annals of Botany*, vol. 94, p. 623–634, 2004.
- [6] Schneider, Gerald F., Alexander W. Cheesman, Klaus Winter, Benjamin L. Turner, Stephen Sitch, Thomas A. Kursar. «Current ambient concentrations of ozone in Panama modulate the leaf chemistry of the tropical tree *Ficus insipida*.» *Chemosphere*, vol. 172, pp. 363-372, 2017.
- [7] Gupta, Vijai K., Ravichandra Potumarthi, Anthonia O'Donovan, Christian P. Kubicek, Gauri Dutt Sharma, Maria G. Tuohy. «Chapter 2 - Bioenergy Research: An Overview on Technological Developments and Bioresources.» *Bioenergy Research: Advances and Applications*, pp. 23-47, 2014.
- [8] Semana, Revista, «La inestable apuesta por los biocombustibles.» *Revista Semana*, 20 02 2016. [En línea]. Available: <http://www.semana.com/economia/articulo/biocombustibles-ya-no-son-tan-buen-negocio/461232>. [Último acceso: 07 02 2017].
- [9] Naveen Kumar Mekala, Ravichandra Potumarthi, Rama Raju Baadhe, Vijai K. Gupta. «Chapter 1 - Current Bioenergy Researches: Strengths and Future Challenges.» *Bioenergy Research: Advances and Applications*, pp. 1-21, 2014.
- [10] Luiz J. Visioli, Fabiane M. Stringhini, Paulo R.S. Salbego, Daniel P. Chielle, Gabrielly V. Ribeiro, Juliana M. Gasparotto, Bruno C. Aita, Rodrigo Klaiç, Jéssica M. Moscon, Marcio A. Mazutti. «Chapter 3 - Use of Agroindustrial Residues for Bioethanol Production.» *Bioenergy Research: Advances and Applications*, pp. 49-56, 2014.
- [11] Shackleton, Ross T., David C. LeMaitre, Brian W. Van Wilgen, David M. Richardson. «The impact of invasive alien *Prosopis* species (mesquite) on native plants in different environments in South Africa.» *South African Journal of Botany*, vol. 97, p. 25–31, 2015.
- [12] Zehndorf, Andreas, Andreas Hussner, Frank Eismann, Helmut Rönicke, Arnulf Melzer. «Management options of invasive *Elodea nuttallii* and *Elodea canadensis*.» *Limnologia*, vol. 51, pp. 110-117, 2015.
- [13] Ho, Dang P., Huu Hao Ngo, Wenshan Guo. «A mini review on renewable sources for biofuel.» *Bioresource Technology*, vol. 169, p. 742–749, 2014.
- [14] Gupta, Vijai K., Ravichandra Potumarthi, Anthonia O'Donovan, Christian P. Kubicek, Gauri Dutt Sharma, Maria G. Tuohy. «Bioenergy Research: An Overview on Technological Developments and Bioresources.» *Bioenergy Research: Advances and Applications*, pp. 23-47, 2014.
- [15] Swain, Manas Ranjan, Jyoti Mishra, Hrudayanath Thatoi. «Bioethanol Production from Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Flour using Co-Culture of *Trichoderma* sp. and *Saccharomyces cerevisiae* in Solid-State Fermentation.» *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 56, n° 2, pp. 171-179, 2013.
- [16] Mishima, D., M. Kuniki, K. Sei, S. Soda, M. Ike, M. Fujita. «Ethanol production from candidate energy crops: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes* L.)» *Bioresource Technology*, vol. 99, pp. 2495-2500, 2008.
- [17] O'Sullivan, Cathryn, Beth Rounsefell, Alistair Grinham, William Clarke, James Udy. «Anaerobic digestion of harvested aquatic weeds: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), cabomba (*Cabomba caroliniana*) and salvinia (*Salvinia molesta*).» *Ecological Engineering* 36 (2010) 1459–1468, vol. 36, n° 10, pp. 1459-1468, 2010.
- [18] Nigam, Poonam Singh, Anoop Singh. «Production of liquid biofuels from renewable resources.» *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 37, pp. 52-68, 2011.
- [19] Jaramillo F., María Consuelo, Luisa Fernanda Zapata O., Tatiana Marulanda L. «Fitorremediación de mercurio a partir de *Elodea* sp.» *Ing. USBMed*, vol. 6, n° 2, pp. 42-45, 2015.
- [20] Nigam, J.N. «Bioconversion of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xylose-fermenting yeast.» *Journal of Biotechnology*, vol. 97, pp. 107-116, 2002.
- [21] Saha, Pradip, A. C. Baishnab, F. Alam, M. R. Khan, A. Islam. «Production of bio-fuel (bio-ethanol) from biomass (pteris) by fermentation process with yeast.» *Procedia Engineering*, vol. 90, pp. 504-509, 2014.
- [22] Cuervo, Laura, Jorge Luis Folch, Rosa Estela Quiroz. «Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol.» *BioTecnología*, vol. 13, n° 3, pp. 11-25, 2009.
- [23] Singh, Anita, Punita Sharma, Alok Kumar Saran, Namita Singh, Narsi R. Bishnoi. «Comparative study on ethanol production from pretreated sugarcane bagasse using immobilized *Saccharomyces cerevisiae* on various matrices.» *Renewable Energy*, vol. 50, pp. 488-493, 2013.
- [24] Best, Elly P. H. and J. H. A. Dassen. «A Seasonal Study of Growth Characteristics and the Levels of Carbohydrates and Proteins in *Elodea*

- nuttallii, Polygonum amphibium and Phragmites a Ustralis,» Aquatic Botany, vol. 28, pp. 353-372, 1987.
- [25] Huang, Wenmin, Hui Shao, Wei Li, Hongsheng Jianga, Yuanyuan Chen. «Article en Press. Effects of urea on growth and photosynthetic metabolism of two aquatic plants (Cabomba caroliniana A. Gray and Elodea nuttallii (Planch.) H. St. John),» Aquatic Botany, vol. xxx, pp. xxx-xxx, 2016.
- [26] Xiao, Lin, Liuyan Yang, Yi Zhang, Yufei Gu, Lijuan Jiang, Boqiang Qin. «Solid state fermentation of aquatic macrophytes for crude protein extraction,» Ecological Engineering , vol. 35, p. 1668–1676, 2009.

Propuesta de Flipped Classroom para el desarrollo de las competencias genéricas en estudiantes de ingeniería

Agustín Lagunes Dominguez
Universidad Veracruzana
aglagunes@uv.mx

Luis Alberto Tafur Jiménez
Universidad de San Buenaventura
decano.ingenieria@usbmed.edu.co

Julián Darío Giraldo Ocampo
Universidad de San Buenaventura
ingenieria.sistemas@usbmed.edu.co

(Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica. Recibido el 15/12/2017. Aprobado el 15/02/2017)

Resumen. Este artículo trata sobre la importancia de las competencias en los estudiantes de pregrado, define las competencias, muestra sus ventajas, indica su clasificación y, sobre todo, describe las principales competencias genéricas deseables según la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA). Posterior a esto, se trata el Flipped Classroom, su definición, sus principios, algunas recomendaciones para su implementación y se muestran sus tres principales ventajas. El principal aporte de este trabajo es una propuesta que tiene como base al Flipped Classroom y como pilares a las actividades preclase y las actividades en clase, donde estas acciones deben tener una fuerte conexión que les permita trabajar coordinadamente, integrado en la planeación estratégica didáctica para desarrollar las competencias. Dentro de las principales conclusiones se tienen es que el Flipped Classroom es ideal para desarrollar las competencias genéricas deseables, tanto las instrumentales, personales y las sistemáticas. Otra conclusión es que no hay modelo pedagógico o propuesta didáctica que tenga éxito sin el trabajo arduo del profesor.

Palabras clave. Competencias, Estudiantes, Ingeniería, Flipped Classroom, Pregrado

Flipped Classroom proposal for the development of generic competencies in engineering students

Abstract. *This article discusses the importance of competencies in engineering students, defining competencies, showing their advantages, indicating their classification and, above all, describing the main generic competencies according to the National Agency for Quality Assessment and Accreditation (ANECA, for its acronym in Spanish). Afterwards, the Flipped Classroom is discussed, its definition, its principles, some recommendations for its implementation and its three main advantages are described. The main contribution of this work is given by a proposal based on the Flipped Classroom, having as pillars the pre and in class activities, where these actions must have a strong connection that allows them to work in a coordinated way, integrated in a didactic strategic planning to develop competencies. The conclusions indicate that the Flipped Classroom is ideal for the development of desirable generic competencies, such as instrumental, personal and systematic. Other conclusion points out that there is no pedagogical model or didactic proposal successful that is successful without the hard work of the teacher.*

Keywords. *Competencies, Students, Engineering, Flipped Classroom, Undergraduate.*

Nomenclatura

ANECA: Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación.

EEES: Espacio Europeo de Educación Superior.

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

1. Introducción

Este artículo es una propuesta para desarrollar las competencias genéricas establecidas por la ANECA en el marco del EEES, para ello, se hace un recorrido por el concepto de competencias, sus ventajas, los tipos de competencias, terminando este apartado de la introducción con las competencias genéricas establecidas por ANECA para todos los pregrados.

Como segundo aspecto de la introducción se define lo que es Flipped Classroom, sus principios y algunas recomendaciones para implementarlas.

1.1 Las competencias

Dentro de las dos definiciones que tiene la Real Academia Española para competencia, la segunda es la más apropiada para esta investigación la cual indica que es la Pericia, aptitud, idoneidad para hacer algo o intervenir en un asunto determinado [1].

Por otro lado, para Van-der Hofstadt y Gómez Gras [2] competencia es un conjunto identificable y evaluable de conocimientos, actitudes, valores y habilidades relacionados entre sí que permiten desempeños satisfactorios en situaciones reales de trabajo, según estándares utilizados en el área ocupacional.

Una tercera definición de competencia es la del proyecto Tuning que la define como una combinación dinámica de atributos en relación a conocimientos, habilidades, actitudes y responsabilidades que describen los resultados de aprendizaje que han de ser alcanzados en un programa educativo y el grado de suficiencia con que una persona es capaz de desempeñarlos [3].

Así mismo la OCDE define la competencia como la capacidad para responder a demandas y llevar al cabo tareas de forma adecuada. Además, indica que las competencias están compuestas por habilidades cognitivas y prácticas, conocimientos, motivación, valores, actitudes, emociones y otros componentes sociales y conductuales [4].

Como se aprecia en todas estas definiciones, una competencia incluye los conocimientos, las habilidades y los valores para poder desarrollar una actividad en el mundo profesional y con este enfoque se pretende reducir la brecha que existe entre la universidad y el campo profesional.

1.1.1 Ventajas de las competencias

Trabajar en educación en un enfoque basado en competencias tiene una serie de ventajas, algunas de ellas fueron mencionadas en el informe final del Tuning

Educational Structures in Europe de González y Wagenaar [3], las cuales se comentan a continuación.

a) Fomenta la transparencia en los perfiles profesionales y académicos de las titulaciones y programas de estudio y favorece un énfasis cada vez mayor en los resultados.

Esta ventaja se refiere a la transparencia de la competencia, que, al definir una competencia para una experiencia educativa o un programa educativo, sea conocido por todos y por lo tanto, tener la idea clara del profesionalista que tendrán.

b) Desarrollo del nuevo paradigma de educación primordialmente centrada en el estudiante y la necesidad de encauzarse hacia la gestión del conocimiento.

Bajo el enfoque por competencias el estudiante adquiere importancia y las tareas de aprendizaje deben ser eso, una orientación hacia el estudiante y por ende, dar un giro al papel del profesor.

c) Las demandas crecientes de una sociedad de aprendizaje permanente y de una mayor flexibilidad en la organización del aprendizaje.

La flexibilidad en la Educación Superior ha sido un tema pendiente en el quehacer educativo, así como la integralidad, por ello las competencias buscan atender las demandas sociales en Educación Superior.

d) Se tienen en cuenta la búsqueda de mayores niveles de empleabilidad y de ciudadanía.

En la medida que los graduados de pregrado cuenten con los conocimientos, habilidades y valores que las empresas y las sociedades requieren, en esa medida los graduados podrán tener un empleo.

e) Un impulso a la dimensión europea de la Educación Superior.

Como consecuencia de este nuevo enfoque basado en competencias, tanto la educación europea en un principio, la Educación Superior en América Latina y el Caribe en una siguiente fase y la Educación Superior en Colombia se refrescan y dirigen de mejor manera sus esfuerzos los cuales son acordes a las características de los estudiantes de este siglo.

f) El suministro de un lenguaje más adecuado para el intercambio y el diálogo con los interesados.

A partir de este enfoque se han generalizado los conceptos utilizados, hoy en día no es raro entre los profesores hablar de competencias, competencias genéricas y específicas, de conocimientos, habilidades, valores y el nuevo rol del profesor. También es cierto que hay actividades pendientes para consolidar este nuevo paradigma, pero los avances han sido significativos en el ámbito europeo, América Latina y Colombia.

1.1.2 Tipos de competencias

Una vez definida la competencia y comentadas sus ventajas, es necesario que se indiquen los tipos de

competencias que existe. Estas pueden ser genéricas o específicas, las genéricas identifican los elementos compartidos que deben ser comunes en todas las profesiones, mientras que las competencias específicas, son las que se tienen que desarrollar en un área temática específica [5].

Las competencias genéricas según González y Wagenaar [3] se dividen en:

- Instrumentales
- Personales y
- Sistemáticas.

A su vez las instrumentales Sierra Alonso [5] establece están divididas en capacidades metodológicas las cuales consideran las competencias:

- Capacidad de análisis y de síntesis.
- Capacidad de planificar y organizar.
- Resolución de problemas.
- Toma de decisiones.

El mismo autor enlista las habilidades cognitivas:

- Conocimientos generales básicos.
- Conocimientos básicos de la profesión.

Así como las destrezas tecnológicas:

- Habilidades básicas en el manejo de computadoras.
- Habilidades de la gestión de la información.

Y las destrezas lingüísticas:

- Comunicación oral y escrita en su propio idioma.
- Conocimientos de un segundo idioma.

Por lo que se refiere a las competencias genéricas personales, Sierra Alonso [5] indica que son:

- Capacidad crítica y autocrítica.
- Trabajo en equipo.
- Habilidades interpersonales.
- Capacidad de trabajar en equipo interdisciplinar.
- Capacidad de comunicarse con expertos de otras áreas.
- Apreciación de la diversidad y la multiculturalidad.
- Habilidad de trabajar en un contexto internacional.
- Compromiso ético.

Por último, Sierra Alonso [5] enlista las competencias genéricas sistemáticas que son:

- Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica.
- Habilidades de investigación.
- Capacidad de aprender.
- Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones.
- Capacidad de generar nuevas ideas.
- Liderazgo.
- Conocimiento de cultura y costumbres de otros países.
- Habilidad para trabajar en forma autónoma.
- Diseño y gestión de proyectos.
- Iniciativa y espíritu emprendedor.

- Preocupación por la calidad.
- Motivación por el logro.

En cuanto a las competencias específicas no se profundiza debido a que cada programa educativo debe determinarlas.

1.1.3 Competencias genéricas deseables

La Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) de España tiene como objetivo contribuir a la mejora de la calidad del sistema de Educación Superior, y realizó un estudio para determinar las competencias genéricas más apreciadas en la rama científica y tecnológica.

Dicho estudio determinó las 3 competencias genéricas más valoradas en cada una de las categorías, instrumentales, personales y sistemáticas. Las competencias que arrojó el estudio se muestran en orden de prioridad en la Tabla 1.

Tabla 1. Competencias genéricas más valoradas en los títulos de grado de la rama Científica Tecnológica [6]

| Tipo de competencia genérica | Competencia deseada |
|------------------------------|--|
| Instrumentales | 1. Capacidad de análisis y síntesis. |
| | 2. Resolución de problemas. |
| Personales | Capacidad de organización y planificación. |
| | 1. Compromiso ético. |
| | 2. Trabajo en equipo. |
| Sistemáticas | 3. Capacidad crítica y autocrítica. |
| | 1. Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones. |
| | 2. Motivación por la calidad. |
| | 3. Capacidad de aprender o aprendizaje autónomo. |

Tipo de competencia genérica competencia deseada.

Instrumentales

1. Capacidad de análisis y síntesis.
2. Resolución de problemas.
3. Capacidad de organización y planificación.

Personales

1. Compromiso ético.
2. Trabajo en equipo.
3. Capacidad crítica y autocrítica.

Sistemáticas

1. Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones.
2. Motivación por la calidad.
3. Capacidad de aprender o aprendizaje autónomo.

Con esto queda muy claro cuáles deben ser las competencias que debe tener cualquier egresado de la universidad y desde cualquier modelo educativo se debe procurar generarlas.

1.1.4 Ingenieros y sus competencias específicas

Hay autores [7] [8] [9] que desde hace muchos años han disertado sobre las competencias del ingeniero como consecuencia de la globalización, ellos han mencionado las siete tendencias que cambiaría la práctica de la ingeniería de manera significativa. Entre las tendencias se encuentran: la amplia gama de nuevos materiales y procesos que amplían el espacio de diseño de un ingeniero; El uso omnipresente de la tecnología de la información; El número creciente y la complejidad de las limitaciones (costos, seguridad, ecología); El aumento de la necesidad de tener tanto conocimientos técnicos específicos como amplitud de conocimientos; La necesidad de trabajo en equipo y amplio conocimiento de negocios; El rápido ritmo de cambio que exige el aprendizaje permanente; La globalización, el cambio de una empresa de ingeniería nacional diferenciada a una que es mucho más cosmopolita. Para lo anterior han propuesto metodologías educativas para los ingenieros [10].

Existen trabajos más específicos indicando que los ingenieros deben tener la competencia de trabajo en equipo [11], otras investigaciones hablan sobre la competencia comunicativa en inglés [12], otros autores se enfocan a la estadística [13] y las matemáticas [14].

En general, son muchas las competencias específicas que debe poseer un ingeniero y son motivos de otra investigación, en este trabajo nos enfocaremos a las competencias genéricas y no a las específicas.

1.2 Flipped Classroom

En los últimos años se ha escrito mucho sobre el Flipped Classroom o aula volteada, pero no se han enfocado a la disciplina de la ingeniería, por ese motivo se ha escrito este trabajo.

Si iniciamos con la definición, autores como Lage, Platt y Treglia [15] definen Flipped Classroom de manera muy sencilla, indicando que las actividades que se realizan en el aula ahora se llevan a cabo fuera de ella y las que comúnmente se ejecutan fuera de ella, ahora son dentro.

En este trabajo, el Flipped Classroom en combinación con el Blended Learning, se considera como una estrategia pedagógica, la cual consiste en que el estudiante realice ahora en su casa las actividades que normalmente hace en el aula, como leer y realizar ejercicios, y en el aula aproveche la presencia del profesor para resolver dudas, debatir y reflexionar, siempre contando con conocimiento previo del tema a trabajar en el aula.

Flipped Classroom no es solo intercambiar las actividades entre el aula y la casa, es más que eso, es una estrategia que permite aprovechar la tecnología y el tiempo en casa, así como optimizar los tiempos en el aula aprovechando los conocimientos, habilidades y experiencias del profesor en el aula. Todo lo anterior con el apoyo de una plataforma educativa que sirva en primer término como un repositorio y de manera

avanzada, crear un ambiente de aprendizaje basado en el concepto de micromundo de aprendizaje.

De esta manera las clases presenciales adquieren un mayor valor, el estudiante llega preparado para potenciar sus conocimientos y no a escuchar por primera vez el tema como sucede en una clase normal.

1.2.1 Principios para el Flipped Classroom

Una vez analizada la definición, es necesario mencionar los principios del Flipped Classroom. Kim y otros autores [16] han diseñado 9 principios para el éxito del Flipped Classroom los cuales son:

1. Proporcionar una oportunidad para que los estudiantes adquieran una primera explicación previa a la clase.
2. Dar un incentivo para que los estudiantes se preparen para la clase.
3. Facilitar un mecanismo para evaluar la comprensión del estudiante.
4. Proveer conexiones claras entre las actividades en clase y fuera de clase.
5. Proporcionar una orientación claramente definida y bien estructurada.
6. Otorgar suficiente tiempo a los estudiantes para llevar a cabo las tareas.
7. Dar las facilidades para la construcción de una comunidad de aprendizaje.
8. Aportar retroalimentación inmediata en trabajos individuales o grupales.
9. Equipar con tecnologías comunes y de fácil acceso.

Como se puede apreciar estos principios son básicos y fáciles de entender, su complejidad radica en cumplirlos al momento de aplicar Flipped Classroom.

1.2.2 Recomendaciones para implementar Flipped Classroom

Por otro lado, Rotellar y Cain [17] indican una serie de recomendaciones para implementar Flipped Classroom las cuales son:

1. Utilizar a los diseñadores instruccionales para determinar el contenido que se debe trabajar en casa y cómo se realizarán las actividades de aprendizaje en la clase.
2. Proporcionar numerosas oportunidades para desarrollar las habilidades individuales y grupales que permitan a los miembros de la facultad el cambio de paradigma.
3. Reconocer que el aumento de la dinámica en el aula puede resultar en la necesidad de personal adicional en el aula (por ejemplo, asistentes).
4. Reconocer que "cambiar las reglas" causará angustia entre muchos estudiantes que pueden incluso necesitar ser reeducados sobre cómo se tiene éxito en el aula invertida.
5. Vincular todas las actividades en casa (preclase) con las actividades en la clase, por lo que es necesario que los estudiantes cumplan con las actividades preclase, para tener éxito.

6. Proporcionar orientación a los estudiantes para que puedan entender exactamente lo que necesitan saber o ser capaces de hacer cuando vienen a clase.
7. Proporcionar una oportunidad para que los estudiantes hagan preguntas y/o aclaren la información contenida en los materiales preclase.
8. Enfocarse en las actividades de la clase sobre cómo se puede agregar valor para ayudar a los estudiantes a pensar como expertos.
9. Proporcionar oportunidades de evaluación formativa para los estudiantes para entender lo que hacen y no saben.
10. Resistir la tentación de "volver a enseñar" el contenido a los estudiantes que no se preparan previamente. Ellos deben comprender lo que significa ser responsables y realizar las actividades preclase.
11. Tener cuidado de no sobrecargar a los estudiantes con mucho contenido preclase.
12. Evaluar los conocimientos, habilidades, comportamientos y actitudes que se desean de los estudiantes.
13. Estar preparado para ajustar las actividades de enseñanza y aprendizaje a medida que se descubre lo que contribuyó al aprendizaje y lo que no lo hizo.

Con los principios y siguiendo estas recomendaciones se puede tener mayores probabilidades de éxito al implantar el Flipped Classroom.

1.2.3 Ventajas del Flipped Classroom

Después de analizar el Flipped Classroom estamos en la posibilidad de enumerar las tres principales ventajas que apreciamos.

1. Mejor planeación. En las clases tradicionales el profesor puede llegar al aula sin una planeación de la clase, confiando en su experiencia y en sus conocimientos, por lo cual puede haber frases al inicio de la clase como "¿en qué nos quedamos la sesión anterior?". Dentro del Flipped Classroom esto no ocurre porque todas las sesiones presenciales deben estar planeadas desde el inicio del curso.
2. Mayor preparación del profesor. El Flipped Classroom exige una mayor expertiz del profesor, en el modelo actual un profesor que enseña estadística puede llegar al aula y escribir un ejercicio que ha aprendido de memoria, aunque realmente no domine el tema, el estudiante lo copia y se lo lleva a casa para entenderlo después. En el Flipped Classroom el estudiante intentó resolver el ejercicio en casa y si no lo logró trae dudas concretas para el profesor lo cual exige del profesor un mayor dominio del tema que enseña.
3. Desarrollo de las competencias de los estudiantes de pregrado. Este nuevo paradigma está diseñado para que el estudiante desarrolle las competencias genéricas, la mejor manera de desarrollar las competencias instrumentales, personales y sistemáticas es autoaprendiendo con la guía del profesor, de esa manera aprenderán a analizar,

sintetizar, resolver problemas y demás competencias genéricas deseables.

Sin duda hay más ventajas al adoptar este paradigma, por el momento solo hemos mencionado las principales.

2. Propuesta

En este segundo apartado se explica la propuesta para implementar el Flipped Classroom en ingeniería, la cual puede ser una propuesta para aplicar en todos los pregrados. La propuesta de este trabajo se ve reflejada en la Figura 1.

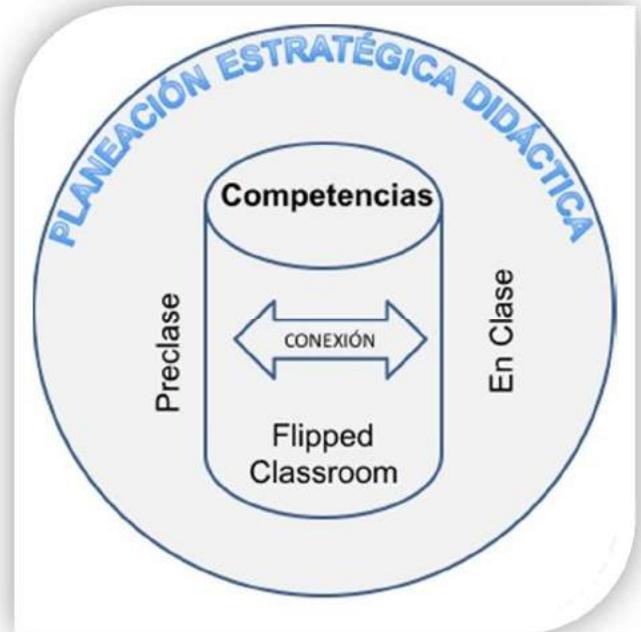


Figura 1. Flipped Classroom para desarrollar las competencias.

La propuesta muestra como el Flipped Classroom es la base para el desarrollo de las competencias, mientras que los dos pilares son las actividades preclase y las actividades en clase.

Las actividades preclase son estratégicamente diseñadas para que el estudiante desarrolle los conocimientos y habilidades previos a su clase. Mientras que las actividades en clase sirven para potenciar los conocimientos y habilidades previamente adquiridos, no es una repetición de lo tratado en la preclase, sino dudas específicas sobre lo teórico y la mejora de las habilidades para lo práctico.

Con la propuesta anterior, un estudiante no llegará a clase sin saber del tema a tratar, a menos que no cumpla con lo planeado.

Dentro del cilindro se encuentra la conexión que debe existir entre las actividades preclase y las actividades en clase, por ello el círculo que amalgama todo el proceso es la planeación estratégica didáctica.

Si se logra diseñar adecuadamente una experiencia educativa bajo esta propuesta, se garantiza mayores probabilidades de éxito.

Si se recuerdan las competencias genéricas deseables tratadas previamente, dentro de las instrumentales están la capacidad de análisis y síntesis, resolución de problemas y la capacidad de organización y planificación. Por lo anterior surge una interrogante, ¿cómo desarrollar estas competencias dentro del aula? La respuesta es que en el aula es poco el tiempo y es muy difícil alcanzar la meta, sin embargo, mediante la propuesta de Flipped Classroom se pueden generar estas competencias en preclase y reforzarlas en la clase.

Así mismo, las competencias personales deseables son el compromiso ético, el trabajo en equipo y la tercera competencia es la capacidad crítica y autocrítica. Al igual que las competencias instrumentales estas competencias se desarrollan mejor mediante la propuesta Flipped Classroom, debido a que se requiere el compromiso ético, el trabajo en equipo preclase, la crítica y autocrítica para cumplir con las actividades propuestas.

Finalmente, si se habla sobre las competencias sistemáticas deseables, se puede decir que son las mejor orientadas a esta propuesta, la competencia de adaptarse a nuevas situaciones, conecta con la nueva forma de hacer las cosas y la capacidad de aprender y autoaprender son requisitos indispensables para Flipped Classroom y cada día que pasa en este modelo se desarrollan con mayor fuerza dichas competencias.

3. Conclusiones

Como conclusiones se tienen las siguientes.

1. Existen competencias genéricas que debería tener todo estudiante de ingeniería en pregrado y la forma de desarrollarlas puede variar.
2. El Flipped Classroom más que un modelo pedagógico, es un cambio de paradigma que permite aprovechar mejor las actividades preclase y las actividades en clase.
3. El Flipped Classroom es una estrategia idónea para desarrollar las competencias genéricas en estudiantes de pregrado.

4. No hay modelo pedagógico o propuesta didáctica que tenga éxito sin el trabajo arduo del profesor.
5. Efectivamente el profesor necesita mejor planeación y mayor expertiz si desea cambiar de la forma tradicional de trabajar y ahora hacerlo mediante el Flipped Classroom.

4. Referencias

- [1] RAE, «Diccionario de la lengua española,» 2016. [En línea]. Available: <http://dle.rae.es/?id=A0fanvT|A0gTnnL>. [Último acceso: 30 Junio 2016].
- [2] C. J. Van-der Hofstadt Román y J. M. Gómez Gras, Competencias y habilidades profesionales para universitarios, Madrid: Diaz de Santos, 2006, p. 505.
- [3] J. González y R. Wagenaar, Tuning Educational Structures in Europe Informe Final. Fase Uno, Universidad de Deusto, 2003.
- [4] OCDE, Defining and Selecting Key Competencies, 2011, p. 264.
- [5] M. I. Sierra-Alonso, Desarrollo - Evaluación de competencias genéricas en los estudiantes universitarios, Madrid: Dykinson, 2011, p. 154.
- [6] M. I. Sierra Alonso, Desarrollo - Evaluación de competencias genéricas en los estudiantes universitarios, Madrid: Dykinson, 2011, p. 154.
- [7] W. Wulf, «Changing nature of engineering,» 1997. [En línea]. Available: <http://www.nae.edu/nae/bridgecom.nsf/weblinks/NAEW-4NHMBD?OpenDocument>. [Último acceso: 2015].
- [8] J. R. Lohmann, H. A. Rollins y J. Hoey, «Defining, developing and assessing global competence in engineers,» European Journal of Engineering Education, vol. 31, n° 1, p. 119–131, 2006.
- [9] W. Ravesteijn, E. De Graaff y O. Kroesen, «Engineering the future: the social necessity of communicative engineers,» European Journal of Engineering Education, vol. 31, n° 1, p. 63–71, 2006.
- [10] J. E. Parra Castrillón, M. J. Amariles Camacho y C. A. Castro Castro, «Aprendizaje basado en problemas en el camino a la innovación en ingeniería,» Ingenierías USBMed, vol. 7, n° 2, pp. 96-103, 2016.
- [11] E. G. Adams, «Building Successful Student Teams in the Engineering Classroom,» Journal of STEM Education, vol. 4, n° 3, pp. 1-6, 2003.
- [12] L. M. Barreiro-Perez y M. d. C. Batista-Gonzalez, «El desarrollo de la competencia comunicativa en inglés ingenieros y arquitectos,» Arquitectura y urbanismo, vol. XXXVII, n° 1, pp. 97-102, 2016.
- [13] S. M. Ramírez-Buelvas, L. R. Cid-Serrano, H. Castillo-Sánchez, M. d. P. Marín-Gaviria, D. González-Gómez y R. Medina-Muñoz, «Implementación y evaluación de un curso de estadística basado en competencias,» Scientia et Technica, vol. XVI, n° 49, pp. 392-401, 2011.
- [14] A. Vintere y A. Zeidmane, «Research in Mathematical competence in Engineers' professional activities,» Engineering for rural development, pp. 497-504, 2014.
- [15] M. Lage, G. Platt y M. Treglia, «Inverting the Classroom: A Gateway to Creating an Inclusive Learning Environment,» The Journal of Economic Education, vol. 31, n° 1, pp. 30-43, 2000.
- [16] M. K. Kim, S. M. Kim, O. Khera y J. Getman, «The experience of three flipped classrooms in an urban university: an exploration of design principles,» Internet and Higher Education, vol. 22, pp. 37-50, 2014.
- [17] C. Rotellar y J. Cain, «Research, Perspectives, and Recommendations on Implementing the Flipped Classroom,» American Journal of Pharmaceutical Education, vol. 80, n° 2, pp. 1-10, 2016.

Aplicación de Dispositivos Móviles en la Medición de los Niveles de Radiación Ultravioleta y su Validación en el Distrito de Chulucanas Región Piura Perú

Ninell J. Dedios Mimbela

Presidenta

Centro para la Investigación Desarrollo y Defensa del Medio
Ambiente, CIDMA PERU
ndedios@cidmaperu.org

Judith Calle Jiménez

Estudiante Ingeniería Ambiental

Pasante CIDMA PERU.

judit_cj_95@hotmail.com

Lorena Rubio Rubio

Estudiante Ingeniería Ambiental

Pasante CIDMA PERU.

lorenarubior@outlook.com

Yudi Vásquez Domínguez

Estudiante Ingeniería Ambiental

Pasante CIDMA PERU.

yudimar_17@hotmail.es

(Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica. Recibido el 18/01/2017. Aprobado el 21/02/2017)

Resumen. Se denomina App a una aplicación de software que se instala en dispositivos móviles con la finalidad de facilitar al usuario la consecución de tareas, operaciones o gestiones del día a día. La presente investigación desarrolla un análisis sobre la eficiencia de las aplicaciones móviles en la medición de niveles de radiación ultravioleta en el distrito de Chulucanas, con el objetivo de verificar la confiabilidad de los datos obtenidos y fomentar una cultura de prevención a la sobreexposición solar en la población chulucanense para evitar enfermedades relacionadas a la radiación UV. La metodología empleada considera la información procedente de tres aplicaciones móviles previamente seleccionadas, World UV, Uv-Indeks y NoTeQuemes descargadas gratuitamente. La toma de datos es realizada en tres puntos georreferenciados del distrito de Chulucanas que son, ciudad de Chulucanas, caserío Chapica Campanas y caserío Papelillo, la medición se efectúa cinco veces al día cada dos horas, iniciándose a las 8:00 a.m y culminando a las 4:00 p.m, por un período de un mes. Los resultados obtenidos indican la influencia horaria y diaria sobre el desarrollo del nivel de radiación ultravioleta. En los sectores observados se determina que la hora de mayor impacto ocurre al medio día solar, en cuanto al tipo de aplicación móvil más adecuada se considera a UV Indeks por ser el de mejor respuesta de acuerdo a los resultados obtenidos en la bibliografía consultada.

Palabra Clave. Aplicaciones Móviles, Radiación Ultravioleta, monitoreo, prevención.

Application of mobile devices measuring ultraviolet radiation and it is validation. Chulucanas, Piura, Perú

Abstract: App is a software application installed on mobile devices to facilitate achievement of tasks, operations or management to a daily user. This research develops an analysis of the efficiency of mobile applications in the measurement of ultraviolet radiations levels in Chulucanas district, in order to verify the reliability of the data obtained and foster a culture of prevention to sun overexposure in the chulucanense population and prevent UV radiation-related illnesses. The methodology employed considers the information coming from three free download applications mobile previously selected, World UV, Uv-indeks and NoTeQuemes. UV monitoring were carried out in the following three geographic areas, Chulucanas, Chapica Campanas, Papelillo town. The measurement was carried every two hours in total of five times every day starting 8 am ending at 4:00 in a period of a month. The results obtained indicate the hourly and daily influence on the development of the level of ultraviolet radiation. from observed sector, it is determined that the hour of greatest impact occurs at noon solar day, as regards the most suitable type of mobile application UV Indeks is considered to be the one with the best response according to the results obtained in the consulted bibliography.

Key Word. Ultraviolet Radiation, Monitoring, mobile application, Prevention.

1. Introducción

El sol es la fuente de energía más importante para el desarrollo de vida en el planeta, permite que se lleven a cabo los diferentes procesos en la tierra. Formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol en forma de radiación visible, infrarroja y ultravioleta, este último esencial en los procesos de formación/destrucción de ozono y en las variaciones termodinámicas que experimenta la atmósfera en sus distintas capas [1], se clasifica en UVA (315 nm a 400 nm), UVB (280 nm a 315 nm) y UVC (180 nm a 280 nm). Las distintas capas de la atmósfera solo permiten que llegue a la superficie del planeta radiaciones en el rango del UVA (90%) y UVB (10%) [2].

La intensidad de la radiación solar depende de la altura del sol, la latitud, la nubosidad, la altitud, el ozono y la reflexión por el suelo. El ozono estratosférico absorbe gran cantidad de radiación ultravioleta procedente del sol, en particular la radiación ultravioleta de menor longitud de onda, que es la más nociva desde el punto de vista biológico.

En los últimos tiempos, el ozono estratosférico empezó a agotarse como consecuencia de actividades humanas, entre 1980 y 1990 las latitudes medias del hemisferio norte (como Europa) la concentración media de ozono descendió aproximadamente en 4% por década y en las regiones meridionales de Australia, Nueva Zelanda, Argentina y Sudáfrica, la cifra se acercaba al 6-7% [3].

Pequeñas dosis de radiación UV son beneficiosas para el ser humano y esenciales para la producción de vitamina D. Una exposición prolongada a la radiación UV solar puede producir efectos agudos y crónicos en la salud de la piel, los ojos y el sistema inmunitario [4].

El riesgo de efectos sobre la salud ocular y del sistema inmunitario relacionado con la radiación UV es independiente del tipo de piel [4]. En el Perú, según el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN), se diagnostican entre 3,000 y 5000 casos de cáncer de piel por año, un gran porcentaje no detectado a tiempo, comprometiendo la vida de aquellos que la padecen [5].

En la ciudad de Piura las condiciones meteorológicas determinan que algunas localidades se afectan por el incremento de la radiación solar en la superficie [6]. En este aspecto, existe una influencia horaria en el comportamiento del índice de radiación ultravioleta, influencia directa de la altitud sobre los niveles de radiación ultravioleta y la estacionalidad como factor determinante en el comportamiento del IUV [7].

En cuanto a su medición, la radiación ultravioleta puede ser medida desde diferentes formas mediante el uso de sensores, radiómetros, observaciones de satélites, que muchas veces no son de acceso rápido a la población para que se puedan tomar medidas de

prevención. Es por ello, que en el presente estudio se emplea dispositivos móviles (APP) para generar un registro de la radiación ultravioleta. Un dispositivo móvil es un aparato de pequeño tamaño, con algunas capacidades de procesamiento, alimentación autónoma, con conexión permanente o intermitente a una red, con memoria limitada, diseñados específicamente para una función, que pueden llevar a cabo otras funciones generales [1]. En ese sentido una aplicación (también llamada App) es un programa informático creado para llevar a cabo o facilitar una tarea en un dispositivo informático [8].

El estudio pretende validar la eficiencia de las tres aplicaciones de dispositivos móviles en el registro de la radiación UV y la información analizada desde el satélite SCHIAMCHI.

2. Metodología

2.1 Ámbito de estudio

La Ciudad de Chulucanas, capital de la Provincia de Morropón, Departamento de Piura, se encuentra ubicada a 5° 5'36" de Latitud Sur y a 80° 09' 3" de Longitud Oeste, a una altura de 92 m.s.n.m. Con una población de 76205 habitantes y con una superficie de 871.19 Km² [9]. Los límites del distrito comprenden por el norte con el distrito de Frías (Ayabaca) y Tambogrande (Piura); por el Sur con el distrito de Santo Domingo y Morropón (Morropón); por el Este con el Distrito de Buenos Aires, la Matanza Y Salitral (Morropon); y por el oeste con el distrito de Piura, Catacaos y Castilla (Piura) [10].

2.2 Puntos de Monitoreo

Tres puntos de monitoreo fueron identificados para la medición de la radiación ultravioleta desde el uso de dispositivos móviles. Los puntos fueron definidos dentro del distrito de Chulucanas, en la zona urbana (Chulucanas) y en la zona rural (caseríos: Chapicas Campana y Papelillo), con una distancia mayor a 5 km entre cada punto (ver Tabla 1).

Tabla 1. Puntos de Monitoreo para la medición de la radiación ultravioleta. Fuente: elaboración propia

| Puntos de Monitoreo | de | Latitud | Longitud | Altitud m.s.n.m |
|--------------------------|----|------------|--------------|-----------------|
| Ciudad Chulucanas | - | 5.09680333 | -80.15892333 | 112.40 |
| Caserío Chapica Campanas | - | 5.08344783 | -80.12091128 | 125.70 |
| Caserío Papelillo | - | 5.07062133 | -80.10218078 | 128.20 |

2.3 Selección de las aplicaciones móviles

Tres aplicaciones móviles fueron descargadas desde la tienda de aplicaciones móviles "Play Store". Se trata

de las aplicaciones: World UV, UV-INDEKS y NoTeQuemes, caracterizadas por:

- Ser de fácil acceso y utilidad para el usuario.
- Aplicable al territorio de interés, puesto a que algunas aplicaciones operan solo en determinadas áreas territoriales.
- Se encuentren libres en la tienda y que para su uso no requieran ningún costo.
- No ocupen mucho espacio en el dispositivo.

World UV: Aplicación creada por la Asociación Británica de Dermatólogos (BAD), en colaboración con la Oficina Meteorológica del Reino Unido para proveer al público una herramienta para conocer la radiación ultravioleta (UV) del sol en un lugar determinado y un día particular [11]. Características:

- Pronósticos UV diario
- Durante la geo localización fija el punto de su ubicación y muestra el nivel de UV correspondiente en el día en la localidad
- Permite averiguar qué pasos se debe tomar para protegerse de la sobreexposición al sol y los riesgos de daño por insolación.
- Permite la búsqueda del nivel radiación UV en lugares en todo el mundo.
- Brinda información sobre los tipos de piel.
- Brinda consejos sobre la protección del sol, incluyendo ropa, sombra y lo que debe buscar en un filtro solar.

UV-INDEKS: Creada por la Junta Nacional de Salud y la Agencia de Protección Ambiental de Dinamarca, herramienta para informar al usuario sobre el índice UV -incluso si está nublado. La aplicación puede encontrar más de 1 millón de ubicaciones en todo el mundo mediante el GPS del teléfono [12].

NoTeQuemes: Aplicación creada en España bajo el Proyecto ChisApps. Esta aplicación fue publicada en julio del 2016 [13]. Nace con el objeto de ayudar en la prevención de enfermedades y lesiones de la piel causadas por la exposición a la radiación ultravioleta. Mediante geo localización, reconoce tu fototipo mediante la realización del Test del Dr. Thomas FitzPatrick [14].

2.4 Medición de la Radiación Ultravioleta

Las aplicaciones: World UV, UV-INDEKS, No Te Quemes, fueron puestas a prueba durante un mes a fin de establecer su correcto funcionamiento. Las mediciones son realizadas a una frecuencia de cinco veces al día (cada 2 horas, desde las 8:00 am hasta las 4:00 pm). El primer registro es realizado el día 22 de agosto hasta el 22 de septiembre del 2016. Fueron considerados los siguientes aspectos:

- Hora programada (los tres dispositivos utilizados sincronizados)
- GPS del dispositivo activado
- Ubicarse en una zona libre de barreras o a una distancia significativa, para que no puedan influir en la medición (edificios, arboles, etc.)
- Tomar en cuenta la nubosidad al momento de la toma de datos.

2.5 Registro de Datos y Nivel de Riesgo Solar:

Una tabla en Excel con datos geo referenciados en coordenadas UTM sistema WGS84 zona 17S, para los tres sectores en observación (Chulucanas, Papelillo y Campana), fueron empleados a fin de registrar los niveles de radiación ultravioleta durante cuatro semanas de observación diaria y considerando la frecuencia de cinco observaciones al día, tal como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Factores considerados en el tiempo de observación

| Coordenadas: UTM/WGS 84 | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|-------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| DÍA | APP | UV/HORA/NUBOSIDAD | | | | | | | | | |
| | | 08:00 a.m. | Nubosidad | 10:00 a.m. | Nubosidad | 12:00 a.m. | Nubosidad | 02:00 p.m. | Nubosidad | 04:00 p.m. | Nubosidad |
| | uv-Indeks | | | | | | | | | | |
| | WORLD UV | | | | | | | | | | |
| | NoTeQuemes | | | | | | | | | | |

Para determinar el nivel de riesgo solar es considerada, la escala de colores internacional vinculado con el efecto negativo frecuente en la piel humana como la quemadura o eritema solar, según la Tabla 1, tomadas de las recomendaciones dadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP), [15]. Tabla 3.

Tabla 3. Nivel de Riesgo Solar (O.M.S, O.M.M) en IUUV y en escala de colores

| Índice UV | Riesgo Solar | Color |
|-----------|--------------|----------|
| <3 | Bajo | Verde |
| 3-5 | Moderado | Amarillo |
| 6-7 | Alto | Naranja |
| 8-10 | Muy alto | Rojo |
| >10 | Extremo | Purpura |

3. Resultados

3.1 Nivel de Radiación Máximo Medio

La radiación ultravioleta máxima media para Chulucanas se presenta con un incremento temporal, que alcanza categorías desde “muy alta” a “extrema”. De la serie observada, el período de máximas más bajas ocurre el día 27 de agosto, en contraposición con el período de radiación media máximo que registra los valores más altos los días 1, 9, 22 y 23 de septiembre (nivel extremo), (Figura 1).

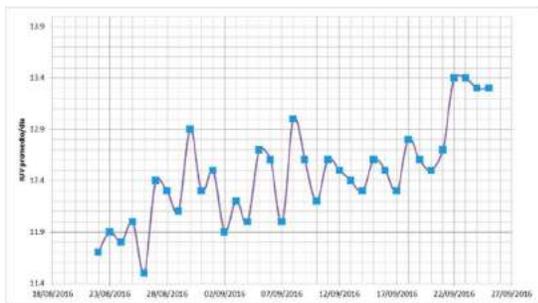


Figura 1. Distribución del nivel de radiación máximo medio. Fuente. Elaboración propia.

3.2 Distribución Horaria de la Radiación Ultravioleta

Debido a la configuración del territorio local, se evidencia la influencia horaria sobre la distribución de los niveles de radiación ultravioleta. De forma progresiva, los valores obtenidos del IUUV se incrementan desde el inicio de las observaciones (8:00 a.m.), donde se produce un mínimo incremento de irradiancia (entre 0 a 2 IUUV) en las tres aplicaciones móviles empleadas, y donde ocurre una mínima agresividad sobre la piel. La distribución horaria, recibida en los sectores; Chulucanas, Chapicas Campana y Papelillo, obedecen a un comportamiento de tipo modal, donde la intensidad horaria de más alta irradiancia IUUV se registra entre las

10:00 a.m. y 14:00 p.m. horas usando la aplicación móvil UV Indeks y que se corresponde con las horas de mayor impacto sobre la piel. Estos resultados indican que una exposición a la radiación solar sin protección, en horas de la mañana y hasta el mediodía solar sería más nociva que la exposición en horas de la tarde.

En Chulucanas con la aplicación No Te Quemes, ocho días de septiembre registraron niveles entre 8 a 11 IUUV a las 14 horas. En este sector, los niveles máximos encontrados (12.9 IUUV ocurrieron el día 23 de septiembre del año 2016) durante las 12:00 horas en contraposición con los menores valores ocurridos entre las 8:00 a 9:00 horas y 16:00 p.m. (niveles de radiación >2 IUUV). Ver Figuras 2a, 2b y 2c.

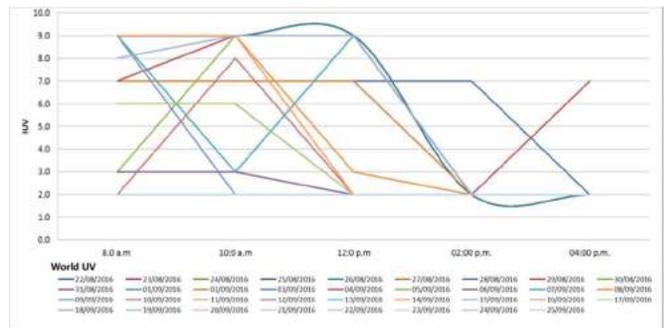


Figura 2a. Distribución horaria de la radiación IUUV en Chulucanas App World UV

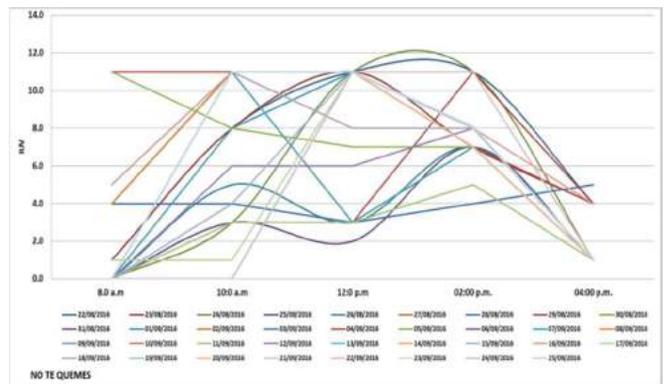


Figura 2b. Distribución horaria de la radiación IUUV en “Chulucanas” desde la App No Te Quemes

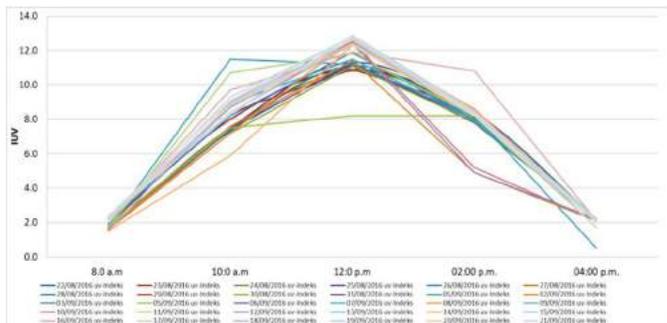


Figura 2c. Distribución horaria de la radiación IUUV en “Chulucanas” desde la App UV INDEKS

En el caserío, “Chapica Campanas” (Figura 3a), con la aplicación móvil World UV, se observa una

variabilidad en el registro con incrementos entre las 10:00 y 12:00 horas donde se registran niveles entre 9 a 10 IUUV. Estos resultados difieren de los obtenidos por la aplicación “No Te Quemes” que obtiene niveles de máxima irradiancia entre 10 a 12 IUUV (Figura 3b). Con la aplicación UV Indeks se produce una tendencia horaria durante todo el periodo de observación de tipo modal con un nivel de irradiancia máximo registrado al medio día solar (Figura 3c).

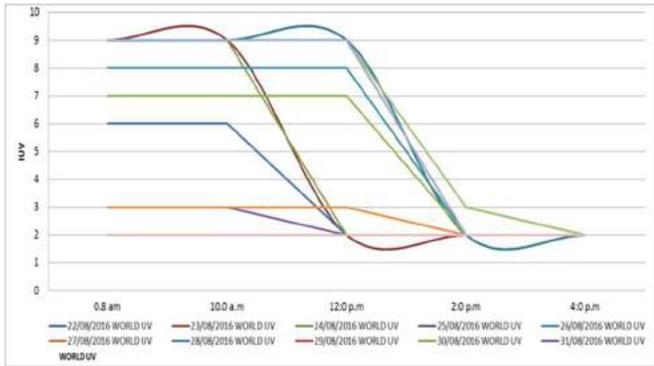


Figura 3a. Distribución horaria de la radiación IUUV en “Chapica Campanas”, App World UV

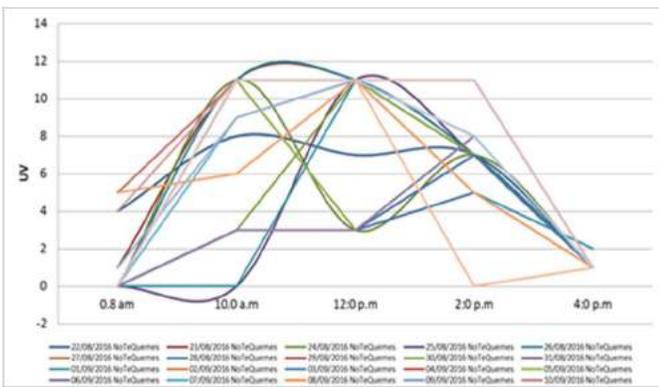


Figura 3b. Distribución horaria de la radiación IUUV en “Chapica Campanas” desde la App No Te Quemes

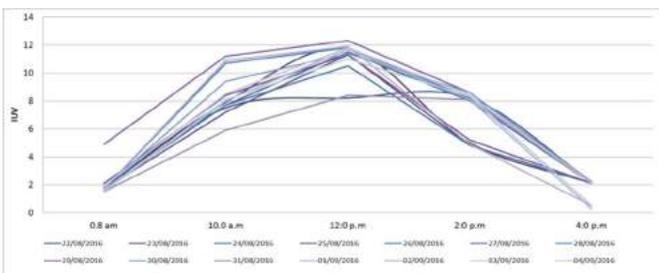


Figura 3c. Distribución horaria de la radiación IUUV “Chapica Campanas” desde la App UV INDEKS

En el caserío Papelillo (Figura 4a, 4b y 4c), la hora de mayor irradiación ocurre al medio día solar donde se alcanzan niveles entre 9 IUUV a 12 IUUV (nivel muy alto a extremo) con las aplicaciones World UV y Uv Indeks respectivamente. Con la aplicación “No Te Quemes” se observa una mayor variabilidad inter horaria sobre el registro de los niveles de radiación que por lo general

ocurren entre las 10:00 y 12:00 horas (registro entre 11 a 12 IUUV) (nivel extremo).

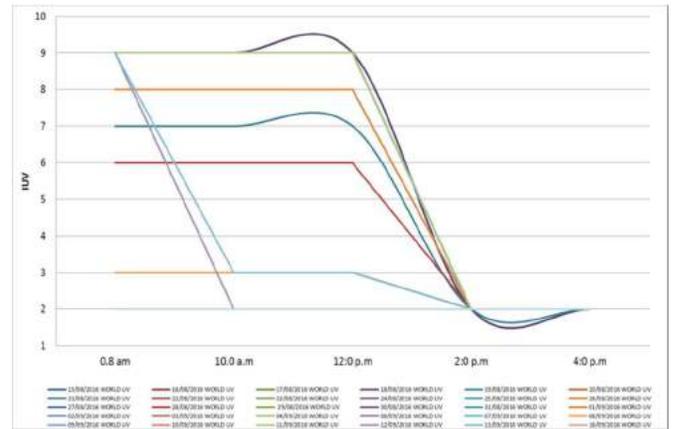


Figura 4a. Distribución horaria de la radiación IUUV en Papelillo App World UV

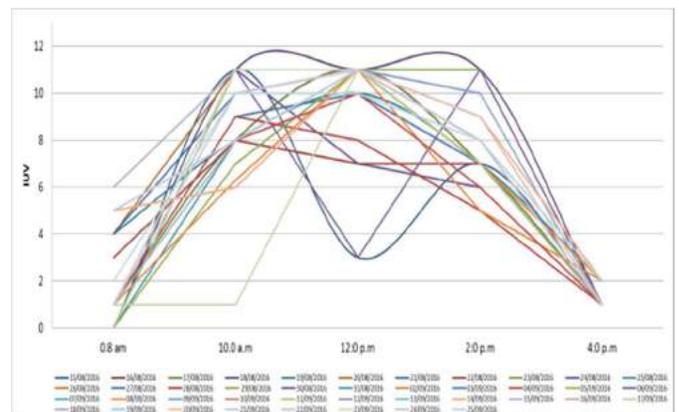


Figura 4b. Distribución horaria de la radiación IUUV en Papelillo App No Te Quemes

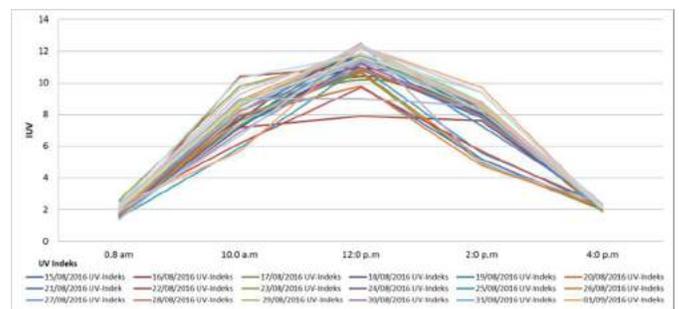


Figura 4c. Distribución horaria de la radiación IUUV en Papelillo App UV INDEKS

3.3 Comportamiento diario

A continuación, se representa la evolución diaria del IUUV en Chulucanas alcanzando el día 4 de septiembre, su valor máximo promedio diario de 9.0 IUUV, seguido de Chapica Campanas y posteriormente el sector Papelillo. A pesar de la nubosidad, la media del UVI máximo diario ponderado (máxima de valores medios semihorarios) la medida es de 8.9 IUUV el mismo valor de la media de 8.9 IUUV. De acuerdo al gráfico, los máximos valores de UVI se registraron a mediados de septiembre, seguramente

debido a los valores de ozono relativamente bajos registrados durante esos días.

Según el app aplicado, se observa la influencia diaria sobre la variabilidad en los sectores observados. El mayor valor promedio es de 6.50 IUVB correspondiente a los sectores Chapica Campanas y Chulucanas. En el caserío "Papelillo", se registra un menor valor promedio (Figura 5).

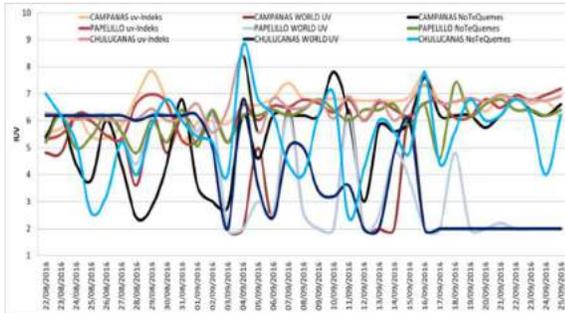


Figura 5. Distribución diaria de los niveles de radiación ultravioleta en Chulucanas, Chapica Campanas y Papelillo desde las aplicaciones móviles UV Indeks, World UV y No Te Quemes.

3.4 Influencia de la altitud en el valor del IUUV

De acuerdo al gráfico, el análisis de curvas de radiación ultravioleta, expresada en Irradiancia Eritémica Media diaria y su correspondencia en Índice IUUV, muestran una disminución, a medida que se avanza en altitud donde los valores de máxima irradiancia durante el periodo en observación se concentra en la ciudad de Chulucanas (valor promedio de 4.08 IUVB), que representa a la zona de mayor exposición solar en relación a los caseríos Chapica Campanas y Papelillo como zonas observadas.

Una simple exploración de los datos indica el efecto de la altitud (variación entre 12 a 13 m.s.n.m entre los sectores observados), sobre la composición de los resultados. En el sector Papelillo la elevación es superior en relación a Chapica Campanas y Chulucanas (Figura 6), esta última presenta los mayores valores de radiación UV.

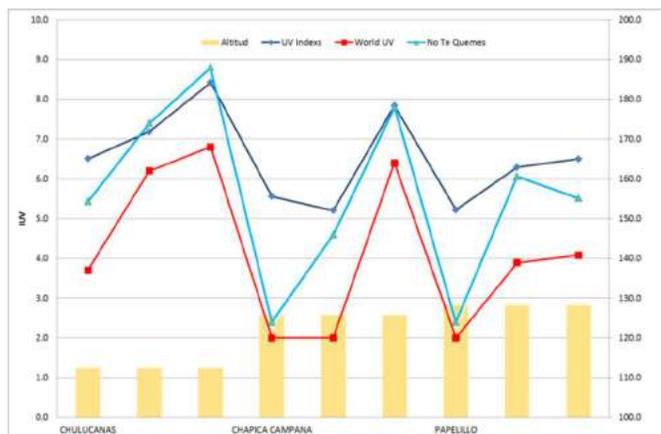


Figura 6. Distribución de los niveles de radiación según los sectores observados

3.5 Comportamiento de los Niveles de Radiación Ultravioleta desde la medición de Aplicaciones Móviles

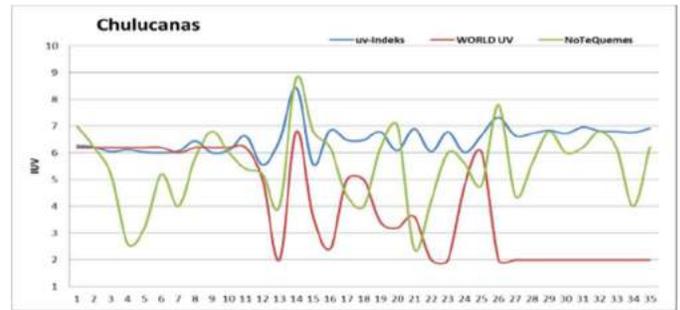


Figura 7. Niveles de radiación ultravioleta en Chulucanas desde la medición con aplicaciones móviles

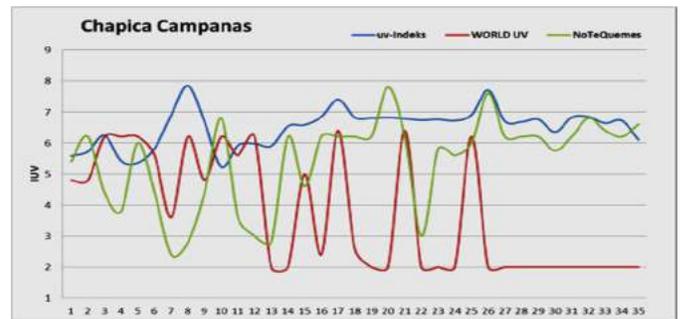


Figura 8. Niveles de radiación ultravioleta en "Chapica Campanas" desde la medición con aplicaciones móviles

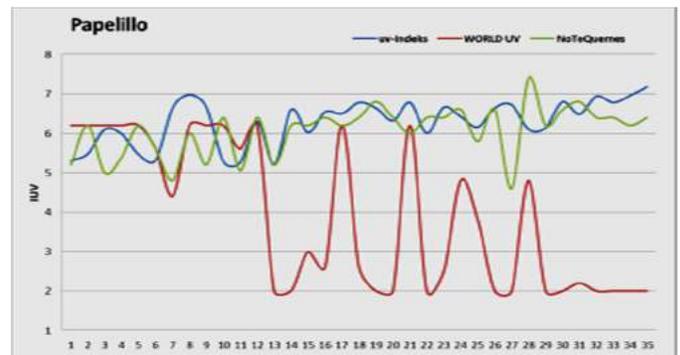


Figura 9. Niveles de radiación ultravioleta en el caserío "Papelillo" desde la medición con aplicaciones móviles

En cuanto al uso de las aplicaciones móviles: No Te Quemes, UV Index y World UV presentan una variabilidad en los resultados durante el tiempo en observación. A inicio de las observaciones, World UV presentó una distribución similar a la aplicación UV Índice hasta el día octavo, donde se inicia una diferenciación en los niveles de radiación sobre las demás aplicaciones. Con la aplicación World UV, el valor promedio del nivel de radiación ultravioleta oscilan entre 3.69 IUUV, en el sector "Chapica Campanas" a 4.08 IUUV en el centro de Chulucanas. Este resultado es considerablemente inferior a lo obtenido por la aplicación UV Indeks, donde en el caserío "Papelillo" registró 6.28 IUUV y 6.50 IUUV en Chulucanas. Lo obtenido coincide con la bibliografía consultada, similar resultado

se obtuvo con la aplicación “No Te Quemés” en el caserío “Chapica Campanas” que registró 5.43 IUUV a 6.05 IUUV en el caserío “Papelillo”.

Durante los días de observación 26 al 35, la aplicación World UV no registró datos, en el sector Papelillo, sin embargo, las aplicaciones UV Indeks y No Te Quemés presentan similar comportamiento durante los días 24 al 35. Este mismo resultado se registra en Chulucanas los días de observación 13 y 16 en el sector Chapica Campanas el día 26.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Es evidente la variación de la intensidad de la radiación recibida o irradiancia, tanto diaria, horaria, desde las tres aplicaciones. Por otra parte, elementos como la nubosidad, modifican principalmente el resultado de los valores diarios.

De las recomendaciones entregadas por la OMS y OMM, se debe evitar la exposición sin protección entre las 10:00 y las 16:00 horas, debido a que en los sectores analizados, los niveles de radiación presentan una categoría entre muy elevado a extremo. Según los resultados, el factor que establece la variación en el comportamiento de la Radiación Ultravioleta en los sectores observados, se encuentra influenciado por la hora del día y la altitud en este caso representada en los caseríos Campana y Papelillo incluida la provincia de Chulucanas. La aplicación UV Indeks tuvo una respuesta horaria con una distribución modal con incrementos entre las 10:00 a 14:00 horas, estos resultados se articulan con las observaciones obtenidas en un estudio sobre los niveles de radiación ultravioleta realizado para la región Piura [16]. En cuanto al tipo de aplicación móvil a utilizar se determinó que UV Indeks es la más apropiada en la zona de Chulucanas y anexos como herramienta para ser usada por la población. Las tres aplicaciones indican que el medio día solar es el horario de máximo registro y del cual se deben concentrar las medidas de cuidado y protección. Asimismo, por ser de disponibilidad gratuita, las aplicaciones se encuentran disponibles para IOS y Android, siendo de fácil uso al contar con la opción de Geoposicionamiento para registrar los niveles de radiación ultravioleta en una determinada localidad. De las aplicaciones empleadas, UV Index resulta tener un mejor rendimiento en la determinación de los niveles de radiación ultravioleta que UV World y No Te Quemés,

estas aplicaciones deben ser conocidas por los usuarios a fin de utilizarla como herramienta y evitar la sobre exposición solar. En promedio, gran parte del Territorio de Chulucanas presenta valores entre muy alto y extremo durante el tiempo de observación.

5. Referencias

- [1] Antón, M. (2007). Modelos Empíricos para la estimación de la Irradiación Solar Ultravioleta. (Tesis de doctorado). Universidad de Extremadura, Badajoz. Recuperado de: <http://biblioteca.unex.es/tesis/8477237815.pdf>
- [2] Departamento de Salud Ocupacional y Contaminación Ambiental (2007). Exposición Laboral a la Radiación Ultravioleta de Origen Solar. Recuperado de: http://www.ispch.cl/salud_ocup/hig_seg/rad_ionizantes/doc/Radiacion.pdf
- [3] Organismo Mundial de la Salud, organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente (S/F). Cambio climático y salud humana - Riesgos y respuestas. Recuperado de: <http://www.who.int/globalchange/publications/en/Spanishsummary.pdf?ua=1>
- [4] Organización Mundial de la Salud, Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (S/F). Índice uv solar mundial Guía práctica. Recuperado de: <http://www.who.int/uv/publications/en/uvspa.pdf?ua=1>
- [5] Sánchez y Saldaña (2009). Radiación ultravioleta y cáncer a la piel. *Dermatología Peruana*, Vol. 19(4) 305, 2009.
- [6] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2013). Boletín de Monitoreo y evaluación de la radiación solar UV-B en Piura. Vol. (02). Dirección regional Senamhi Piura.
- [7] Dedios, N. (2016). Radiación Ultravioleta. Análisis de su Comportamiento Estacional en Diferentes Sectores de la Región Piura. Costa Norte del Perú. *Ingenierías USBMed*. Vol. Vol. 7, No. 1, Enero-Julio 2016.
- [8] mastermagazine. (2016). mastermagazine: Definición de aplicación. Recuperado de: <http://www.mastermagazine.info/termino/3874.php>
- [9] Municipalidad Provincial de Morropón Chulucanas (2014). Diagnóstico Ambiental de la Provincia de Morropón. Recuperado de: http://www.munichulucanas.gob.pe/jdownloads/documentos_de_gestion/diagnostico_ambiental_de_la_provincia_de_morropon.pdf.
- [10] Municipalidad Provincial de Morropón Chulucanas (2011 – 2014). Municipalidad Provincial de Morropón Chulucanas: Distrito de Chulucanas. Recuperado de: <http://www.munichulucanas.gob.pe/index.php/chulucanas.html>
- [11] Google play. (2016). Google play: World UV. Recuperado de: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.developersrepublic.worlduv&hl=es>
- [12] Google play. (2016). Google play: Uv-indeks Recuperado de: https://play.google.com/store/apps/details?id=dk.kb.uv_android&hl=es
- [13] Chisapps (2016). Chisapps Desarrollos Android nativos - Aplicaciones Web. Recuperado de: <http://chisapps.com/>
- [14] Google play. (2016). Google play: NoTeQuemes Recuperado de: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chisapps.NoTeQuemes&hl=es>
- [15] WHO (2002) “The Global Solar UV Index. A practical guide”. Disponible en: <http://www.who.int/uv/publications/globalindex/en/>

Resolución espacial en la elaboración de mapas de ruido por interpolación

Diego M Murillo

Universidad de San Buenaventura, Medellín. Facultad de Ingenierías
diego.murillo@usbmed.edu.co

(Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica. Recibido el 06/02/2017. Aprobado el 21/02/2017)

Resumen. Un análisis sobre la resolución espacial requerida en mediciones de ruido para generar mapas acústicos por interpolación es discutido. El proceso se basa en la generación de cartografía de referencia utilizando el software de predicción acústica SoundPLAN. Posteriormente, los resultados son exportados como receptores puntuales con diferentes resoluciones emulando mediciones en campo. Estos receptores son utilizados para construir mapas de ruido por interpolación que son comparados con su respectiva referencia. Entornos poco y densamente poblados han sido considerados en el presente estudio. En adición, una evaluación utilizando mediciones de ruido registradas en el barrio Estadio de la ciudad de Medellín también es presentada. Los hallazgos indican que la resolución requerida para una correcta representación de la propagación sonora es dependiente de la complejidad del entorno. Para evaluaciones generales en las que se proyecta tener una estimación global de la condición acústica, una resolución de 80 m provee información estadísticamente representativa en asentamientos urbanos.

Palabras clave. Mapas de ruido, interpolación, resolución espacial.

Spatial resolution for noise mapping based on interpolation methods

Abstract. *An analysis of the spatial resolution required for the noise measurement grid to generate noise maps based on interpolation methods is discussed. The process is based on the generation of reference cartography using the commercial package SoundPLAN. Subsequently, the results are exported as point receivers with different resolutions emulating in-situ measurements. These receivers are used to produce noise maps using interpolation techniques, which are compared to the respective reference. Low and densely populated environments have been considered in the current research. In addition, an evaluation using noise measurements from the Estadio's neighborhood of the city Medellin is also presented. The outcomes indicate that the spatial resolution required to correctly represent the sound propagation depends on the complexity of the environment. For a general assessment, in which a global estimation of the acoustical condition is expected, a resolution of 80 m provides statistical representative information in urban scenes.*

Keywords. *Noise mapping, interpolation, spatial resolution.*

1. Introducción

Los mapas de ruido son herramientas que permiten la evaluación de la condición acústica en un área determinada [1]. Mediante su uso, es posible estimar la cantidad de población expuesta a diferentes niveles de sonoros, pero también soportar la toma de decisiones concernientes a la gestión ambiental. En adición, son insumo fundamental en la determinación de los usos del suelo y el desarrollo de planes de ordenamiento territorial [2].

Diferentes metodologías existen para la elaboración de mapas de ruido. La más utilizada corresponde a la implementación de métodos de cálculo que estiman la emisión acústica de la fuente y la propagación del sonido considerando fenómenos como absorción, atenuación, reflexión y difracción [3]. Métodos internacionales ampliamente reconocidos para predecir el ruido producido por fuentes automotoras [4], férreas [5], industriales [6] y aéreas [7] pueden ser hallados en la literatura científica.

Aunque el uso de métodos de cálculo es la metodología más asertiva para pronosticar la condición acústica en un sector, el alto costo de los programas informáticos que implementan dichos algoritmos limita su uso y aplicación en estudios de pequeña escala. Otra metodología basada en la toma de mediciones *in-situ* y la posterior interpolación de la información para generar superficies continuas que representan la distribución espacial de los niveles de ruido puede ser utilizada en estos casos [8].

La principal limitación de utilizar interpolación para elaborar mapas de ruido es que la propagación del sonido no es considerada en la generación de los contornos acústicos, sino la relación espacial entre los puntos de muestreo. Esto conlleva a una alta densidad de puntos de medición con el propósito de registrar adecuadamente su variación espacial (e.g. el efecto de apantallamiento generado por los edificios en un entorno urbano o la atenuación del sonido debido a la distancia). Pese a esta restricción, la interpolación continúa siendo un método alternativo ampliamente utilizado en la elaboración de mapas de ruido [9-14].

En el presente artículo se efectúa un análisis sobre la resolución espacial requerida para elaborar mapas de ruido por interpolación de acuerdo a diferentes entornos acústicos. Escenarios simples basados en propagación a campo libre y ambientes complejos (urbanos) son considerados. Tanto simulaciones numéricas utilizando el software SoundPLAN V 7.4 [15] como mediciones de ruido en una zona piloto de la ciudad de Medellín son utilizadas para el presente estudio.

2. Métodos

La interpolación es un proceso estadístico en el que se estiman valores desconocidos a partir de datos conocidos [16]. Métodos tanto determinísticos como geo-estadísticos son comúnmente utilizados para predecir información espacialmente referenciada [17].

En el ámbito de acústica ambiental, su principal aplicación es la generación de contornos continuos que representan la variación espacial del ruido. El parámetro nivel continuo equivalente ponderado A (LAeq) [18] es comúnmente utilizado como indicador de evaluación en este tipo de mapas. El proceso se basa en la realización de mediciones de ruido georreferenciadas acorde a una retícula espacialmente distribuida y su posterior análisis en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esto posibilita la integración de la información con otros datos espaciales (e.g. cantidad de población) fortaleciendo el análisis del mapa [19].

El método de interpolación seleccionado corresponde a *Kriging* [20] ya que estudios previos indican mayor precisión en la generación de mapas de ruido comparado con otros métodos como *Inverse Weighting Distance* [21]. *Kriging* es un estimador lineal basado en la auto correlación espacial que existe entre las variables. El método asume que la media es constante y que las variables son estacionarias y sin tendencias. Posibilita la transformación de datos, eliminación de tendencias y provee estimaciones de error. La auto correlación es determinada partir de semivariogramas y vecindades que son obtenidos por medio de un análisis exploratorio de la información. El semivariograma permite, a partir de la covarianza entre los puntos medidos, estimar su variabilidad y dependencia en función de la distancia y la dirección. La fórmula general está dada por:

$$p(\mathbf{x}) = \beta(\mathbf{x}) + \varepsilon(\mathbf{x}), \quad (1)$$

donde p es la variable de interés (Leq), β es una constante desconocida, ε son errores aleatorios de estimación y \mathbf{x} es un vector en un espacio euclidiano R^n que representa las coordenadas espaciales. La predicción en el punto \mathbf{x} está dada por:

$$\tilde{p}(\mathbf{x}) = \sum_{n=1}^N \lambda_n p(\mathbf{x}_n), \quad (2)$$

en el cual es \tilde{p} es la variable estimada, λ es el peso de cada variable, p es la variable medida y n es el índice que representa cada punto medido. El error ε se define como:

$$\varepsilon(\mathbf{x}) = \sum_{n=1}^N \lambda_n p(\mathbf{x}_n) - p(\mathbf{x}). \quad (3)$$

En adición, la suma de los pesos λ_n debe ser igual a 1 para que los valores estimados no se encuentren sesgados. Finalmente, con el propósito de minimizar el error se agrega el multiplicador de Lagrange (Γ):

$$\mathbf{g} = \Gamma \boldsymbol{\lambda}, \quad (4)$$

donde Γ es la matriz de valores del semivariograma teórico, $\boldsymbol{\lambda}$ es el vector de pesos a resolver y \mathbf{g} es el vector de semivarianza teórica de cada punto. Para el presente estudio, se implementó *Kriging* Ordinario ya que no se

considera que la media entre los puntos evaluados es constante (en caso contrario se implementaría *Kriging Simple*). Esto se debe a las características físicas de cómo se propaga el sonido.

La eficiencia de la interpolación es determinada mediante un análisis de normalidad en la información y el cálculo del error (ϵ). Para evaluar la distribución normal en los datos, se calcula el coeficiente de sesgo y si su valor absoluto es mayor a la 0.5 ($|\beta| > 0.5$) se efectúa una transformación de los datos de tipo raíz cuadrada o logarítmica. En adición, una comparación en términos de media, mediana, moda y desviación estándar es realizada. Finalmente, diferentes tipos de errores son estimados con base en ϵ :

$$\text{Promedio Estándar (ASE)} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \sigma^2(x_n)}{N}}, \quad (5)$$

$$\text{Raíz Cuadrática Media (RMS)} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (\epsilon_n)^2}{N}}, \quad (6)$$

$$\text{Media Estandarizada (MSE)} = \frac{\frac{\sum_{n=1}^N \epsilon_n}{\sigma(x_n)}}{N}, \quad (7)$$

$$\text{RMS Estandarizada (RMSS)} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \left(\frac{\epsilon_n}{\sigma(x_n)}\right)^2}{N}}. \quad (8)$$

La selección corresponde al escenario cuyo ASE y RMS sean menores, el MSE sea más cercano a cero y el RMSS sea más próximo a la unidad [22]. Por otra parte, valores estadísticos (mínimo, máximo y desviación estándar) estimados a partir del proceso de interpolación son comparados con los valores medidos como criterio de validación.

Para el desarrollo del presente estudio, información de referencia es generada en el software SoundPLAN. La selección de esta metodología se debe a la factibilidad de exportar receptores puntuales con diferentes resoluciones espaciales lo que permite evaluar la robustez del método de interpolación. Diferentes escenarios acústicos tanto simples como complejos son evaluados. En primera instancia, la emisión de una vía a campo libre y con gradiente de elevación 0 es simulada utilizando el método de cálculo alemán RLS 90 [3]. Receptores puntuales con una resolución espacial de 40 m, 80 m y 240 m son exportados y utilizados para generar mapas de ruido por interpolación.

Posteriormente, un entorno urbano correspondiente al centro de la ciudad de Medellín es considerado. El mapa de ruido corresponde a un área aproximada de 353 m² en el cual el ruido producido por el tráfico automotor es predominante. Esta zona presenta una alta complejidad debido a que múltiples rutas de transporte público de la ciudad convergen en ella. La información de entrada requerida para la simulación fue adquirida de acuerdo a

las recomendaciones establecidas por la *European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise* [23]. Información concerniente al aforo y velocidad vehicular fue recolectada directamente en campo. Cartografía concerniente a vías, edificios y curvas de nivel fue provista por la secretaria de catastro de la ciudad. Mayor detalle sobre el proceso de simulación y validación puede ser consultado en la siguiente referencia [24]. La Figura 1 muestra el área seleccionada.



Figura 2. Zona de Estudio (Centro – Medellín)

Finalmente, mediciones de ruido ambiental acorde a la Resolución 0627 de 2006 [25] son realizadas en una zona correspondiente al barrio Estadio en la ciudad de Medellín (ver Figura 2). Estas mediciones son utilizadas para generar mapas de ruido por interpolación con base en información registrada en campo. De esta manera, es posible evaluar la incidencia que tiene la variabilidad intrínseca de las mediciones de ruido cuando no se realizan de manera simultánea. Estas variaciones se asocian a cambios en el flujo vehicular, velocidad de recorrido, uso de claxon o el aporte hecho por fuentes externas de tipo comunitario.



Figura 3. Zona de Estudio (Barrio Estadio – Medellín)

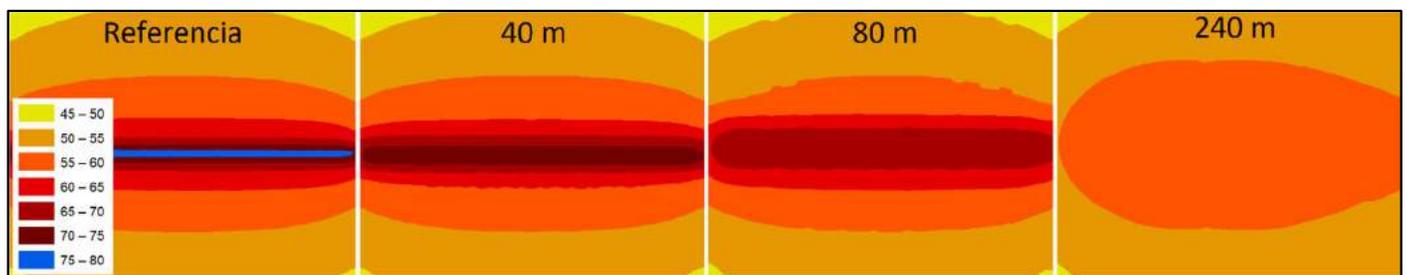


Figura 4. Mapas de ruido, simulación de escenario simple a campo libre.

Un análisis complementario utilizando los valores estimados por el proceso de interpolación es llevado a continuación. Para esto, los contornos continuos ilustrados en la Figura 3 son procesados como archivos tipo raster. La Figura 4 muestra el error ζ el cual es definido como la diferencia aritmética entre cada celda

del mapa de referencia y los interpolados (Ecuación 9). El uso de ζ obedece a tener información de referencia que puede ser contrastada con la estimada.

$$\zeta(\mathbf{x}) = \tilde{p}(\mathbf{x}) - p(\mathbf{x}). \quad (9)$$

corresponde a 40 m. En contraste, las mayores divergencias se hallan con una resolución de 240 m.

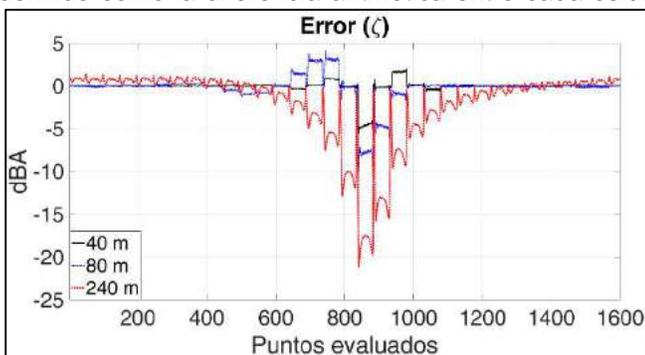


Figura 5. Error ζ para diferentes resoluciones espaciales, escenario campo libre

La Figura 4 indica que ζ es mayor para el mapa construido con una resolución espacial de 240 m. En este caso, existen diferencias de hasta 20 dBA entre puntos. En general, los resultados indican que el error decrece al disminuir el espaciamiento en la retícula. Esto se debe a que la atenuación del LAeq debido a la distancia es mejor caracterizada. La Tabla 1 ilustra los errores dependientes de ε (ecuaciones 5-8). Los indicadores sugieren que el mejor escenario

3. Resultados

3.1 Escenario simple, simulación a campo libre

Este modelo corresponde al ruido generado por una vía con un nivel de emisión de ruido (L_{me}) de 68.6 dB. El entorno corresponde a campo libre lo que conlleva a una propagación de tipo cilíndrica. Mapas de ruido generados con diferentes resoluciones espaciales son ilustrados en la Figura 3. Los resultados indican variaciones significativas en los niveles de ruido proyectados. La mayor discrepancia se encuentra en el área cercana a la fuente en donde la atenuación por la distancia es más relevante. En el caso del mapa construido con una resolución espacial de 240 m, no es posible asociar los contornos de ruido a un tipo de fuente acústica (e.g. cilíndrica) debido a la dispersión en la información.

Tabla 2. Errores basados en ε , escenario campo libre

| Error | 40 m | 80 m | 240 m |
|-------|--------------|--------------|-------|
| ASE | 0.358 | 0.732 | 3.68 |
| RMS | 0.222 | 0.646 | 2.62 |
| MSE | 0.009 | -0.013 | 0.123 |
| RMSS | 0.635 | 1.102 | 0.693 |

3.2 Escenario complejo, simulación entorno urbano

La Figura 3 ilustra el mapa de ruido asociado a la zona centro de la ciudad de Medellín. Los hallazgos sugieren que una resolución espacial de 40 m permite delimitar las zonas con mayores niveles de ruido y facilita la identificación de las fuentes emisoras. En contraste, la resolución de 80 m solo provee una descripción global de los niveles de ruido del sector. En el caso de 240 m, los niveles de ruido son sobreestimados en la parte sur y subestimados en la parte norte, respectivamente. Un análisis en términos de parámetros estadísticos (diferencia aritmética entre predichos y referencia) es presentado en la Tabla 2.

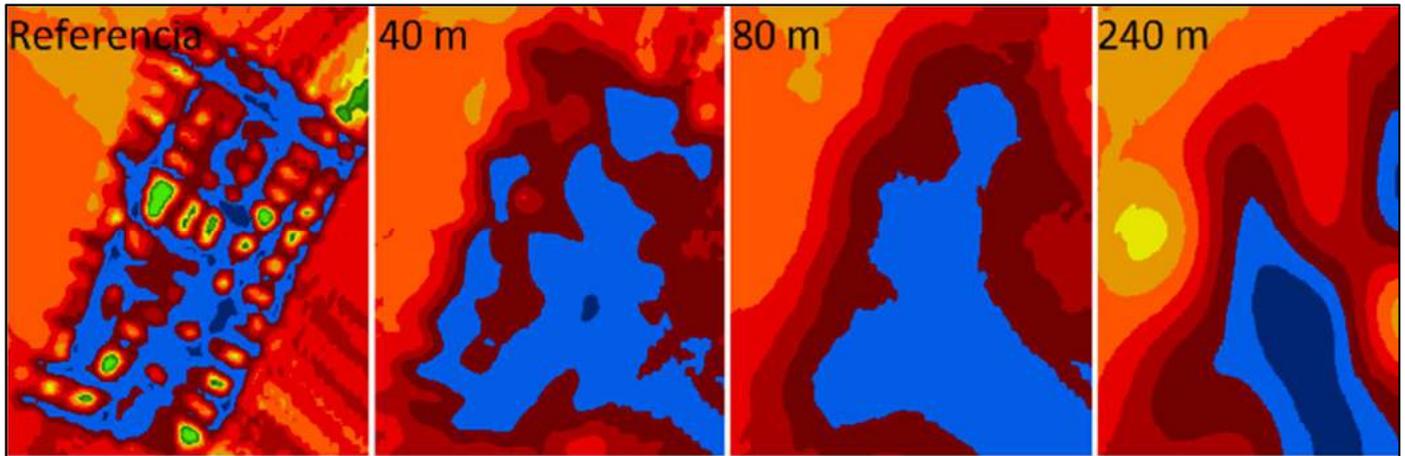


Figura 6. Mapas de ruido, simulación de escenario complejo zona centro de Medellín.

Tabla 3. Diferencia entre estadísticos, zona centro

| Parámetro/Resolución | 40 m | 80 m | 240 m |
|----------------------|------|------|-------|
| Valor Mínimo | 25.4 | 30.5 | 33.1 |
| Valor Máximo | -2.6 | -7.8 | -10.2 |
| Desviación estándar | -1.9 | -4.5 | -5.0 |
| Media | 0,3 | 3.4 | 3.4 |
| Mediana | -2.8 | 2.2 | 2.3 |

Los resultados indican que la mayor correlación entre los parámetros estadísticos es obtenida utilizando una resolución espacial de 40 m. En general, la mayor diferencia se encuentra en el valor mínimo. Esto se debe a que los puntos exportados no coinciden con las coordenadas en que el aislamiento acústico provisto por los edificios atenúa de manera significativa los niveles de ruido. Un análisis en términos de ε es presentado en la Tabla 3.

Tabla 4. Errores basados en ε , zona centro

| Error | 40 m | 80 m | 240 m |
|-------|--------------|--------|-------|
| ASE | 5.537 | 6.295 | 7.590 |
| RMS | 5.806 | 6.816 | 8.327 |
| MSE | 0.006 | -0.013 | 0.015 |
| RMSS | 1.040 | 1.066 | 1.077 |

Los resultados son congruentes con los hallazgos obtenidos para el escenario a campo libre en los que los errores son más desfavorables al utilizar una menor resolución espacial (240 m).

3.3 Escenario complejo, medición entorno urbano

Con base en los resultados obtenidos en la sección anterior, 82 mediciones de ruido ambiental han sido registradas en un área aproximada de 353 m². Esta relación conlleva a una resolución espacial de 80 m entre puntos de medición. Este distanciamiento fue seleccionado con el propósito de obtener un balance razonable entre los costos económicos y la precisión del mapa. La metodología de medición corresponde al protocolo establecido por la normativa nacional [25]. La Figura 6 muestra la zona bajo estudio con los respectivos puntos de medición.



Figura 7. Puntos de medición de ruido ambiental Barrio Estadio

Inicialmente, un análisis exploratorio es realizado con el propósito de efectuar una valoración preliminar de la información. Para esto, una evaluación sobre la normalidad en la distribución de los datos es conducido. Este procedimiento es implementado para determinar si se debe aplicar alguna transformación o si hay información atípica que debe ser descartada por errores en el proceso de captura. A continuación, en la Tabla 4, se reporta el coeficiente de sesgo, media, mediana, moda y desviación estándar de los datos registrados.

Tabla 5. Análisis de normalidad, Barrio Estadio

| $ \beta $ | Media | Mediana | Moda | σ |
|-----------|--------|---------|-------|----------|
| 1.015 | 70.014 | 68.075 | 62.45 | 8.556 |

Los valores indican que los datos no concuerdan de manera adecuada a una distribución normal. En este caso, el coeficiente de sesgo es mayor a la unidad por lo que se aplica una transformación logarítmica para ajustar la información. La Tabla 5 muestra los parámetros de validación posterior a la transformación de los datos. Aunque los resultados indican una optimización en la información, el valor de sesgo continúa siendo mayor a 0.5.

Tabla 6. Análisis de normalidad datos transformados, Barrio Estadio

| $ \beta $ | Media | Mediana | Moda | σ |
|-----------|-------|---------|------|----------|
| 0.723 | 4.24 | 4.22 | 4.22 | 0.117 |

Por consiguiente, se descartaron 4 registros que contenían valores extremos basado en una curva de normalidad. La Tabla 6 ilustra los valores posteriores a la eliminación de dichas mediciones y a la aplicación de una transformación de tipo raíz cuadrada.

Tabla 7. Análisis de normalidad datos descartados y transformados, Barrio Estadio

| Error | Gauss | Esférico | Exponencial | Circular | Tetra-Esférico | Penta-Esférico |
|-------|--------------|----------|-------------|---------------|----------------|----------------|
| ASE | 0.252 | 0.253 | 0.272 | 0.253 | 0.251 | 0.256 |
| RMS | 0.241 | 0.245 | 0.250 | 0.244 | 0.245 | 0.246 |
| MSE | -0.027 | -0.021 | -0.028 | -0.009 | -0.024 | -0.024 |
| RMSS | 0.955 | 0.966 | 0.916 | 0.965 | 0.973 | 0.957 |

Acorde a la Tabla 7, el mejor escenario para este caso en específico corresponde a un modelo Tetra-Esférico. La Figura 9 ilustra el mapa de ruido de la zona estadio utilizando el método de interpolación seleccionado.

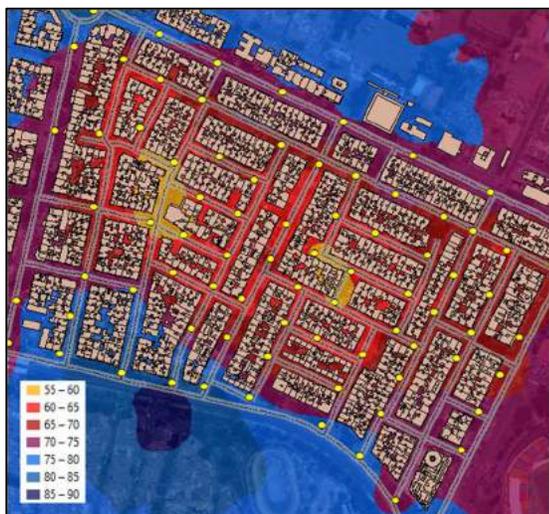


Figura 8. Mapa de ruido, interpolación zona Estadio

| Condición | $ \beta $ | Media | Mediana | Moda | σ |
|--|-----------|--------|---------|-------|----------|
| Datos eliminados | 0.587 | 68.853 | 67.775 | 64.10 | 6.963 |
| Datos eliminados y transformación $n \sqrt{\quad}$ | 0.484 | 8.288 | 8.233 | 7.97 | 0.415 |

Posteriormente, diferentes escenarios de interpolación son generados utilizando múltiples modelos de semivariograma. La selección corresponde a la configuración que presenta mejor ajuste a los errores dependientes de ε (Ecuaciones 5-8). Este proceso es comúnmente usado como método de evaluación en el proceso de interpolación. El cálculo de ε se realiza en cada punto a partir de los puntos restantes. Es decir, que en el caso del mapa del barrio Estadio cuya interpolación se genera con 78 receptores puntuales (4 registros son descartados), 77 de esos receptores son utilizados para predecir el punto bajo análisis. Este proceso se repite para todos los 78 receptores. La implementación de esta metodología se debe a la carencia de un escenario de referencia lo cual imposibilita la evaluación de ζ . La Tabla 7 presenta los errores dependientes de ε para varias configuraciones de interpolación con diferentes modelos de semivariograma.

Tabla 8. Errores dependientes de ε , Barrio Estadio

Como es de esperarse, los mayores niveles de ruido se encuentran en el perímetro del mapa el cual corresponde a vías principales. En el centro de la zona bajo análisis, los niveles se reducen debido a una significativa disminución en el flujo vehicular que transita en estas vías. Aunque la interpolación no genera contornos de ruido específicamente relacionados con las fuentes generadoras (vías), la información proyectada es lo suficientemente representativa para establecer una relación entre estas variables. Esto posibilita pronosticar las vías que mayor impacto acústico generan en el sector.

4. Discusión

Los resultados indican una alta dependencia entre la resolución espacial y la precisión de la interpolación. En todos los casos, utilizar una retícula de 240 m entre vértices conlleva a mapas de ruido que no describen la condición acústica correctamente. En el escenario correspondiente a campo libre, utilizar esta resolución provee contornos de ruido que solo son precisos en áreas lejanas a la fuente en donde no hay una variación significativa en los niveles de ruido. En adición, la

precisión la interpolación será menor cuando se utilizan mediciones de ruido ambiental debido a la intrínseca variabilidad del fenómeno. Una retícula no homogénea en la que se utilice un mayor número de puntos en áreas cercanas a las fuentes principales de ruido puede mejorar la predicción.

En entornos urbanos, debido a la alta variabilidad en los niveles de ruido, una resolución de 40 m es necesaria para análisis detallados. En el caso de una evaluación global de los niveles de ruido, utilizar una retícula de 80 m es suficiente para describir la condición acústica del entorno. Es relevante resaltar que la normativa nacional [25] recomienda el uso de retículas de hasta 2 km para entornos rurales (similar al escenario en campo libre) y de hasta 250 m en entornos urbanos. Los hallazgos obtenidos en el presente estudio sugieren que estas retículas no tienen la suficiente resolución espacial para generar mapas de ruido por interpolación. El uso de las mismas debería ser enfocado a la validación de mapas de ruido generados mediante modelación cuya calibración y validación se realiza con base a mediciones in-situ. Es importante resaltar que dichas mediciones deben considerar un intervalo temporal significativo con el propósito de representar la condición acústica a largo plazo o ser enfocadas a fuentes puntuales.

5. Conclusiones

Un análisis sobre la resolución espacial requerida para la elaboración de mapas de ruido por interpolación ha sido presentado. Los resultados indican que en entornos en que los niveles de ruido varían rápidamente de manera significativa un menor distanciamiento entre puntos de medición es requerido.

En estudios en los cuales la propagación del sonido debe ser caracterizada con detalle, una resolución espacial de mínimo 40 m es requerida. Un distanciamiento de 80 m entre puntos de medición es suficiente para evaluaciones globales de la condición acústica en entornos urbanos.

La resolución espacial entre puntos de medición de ruido establecida por la Normativa Colombiana no es adecuada para la generación de mapas de ruido por interpolación. Para este tipo de aplicaciones una mayor resolución espacial es requerida.

6. Referencias

- [1] E. Murphy and e. King. "Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy"; Elsevier; 1st edition; San Diego; 2014.
- [2] EU. "Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise"; 2002.
- [3] D. Murillo, J. Gil, V. Zapata & J. Tellez. "Assessment of the RLS-90 calculation method for predicting road traffic noise in Colombian conditions". Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia; Vol. 75, pp. 175-188, Jun. 2015.
- [4] C. Steele. "A critical review of some traffic noise prediction models". Applied Acoustics Vol. 62, No 3, pp. 271-287, 2001.
- [5] M. Szwarc, B. Kostek, J. Kotus, M. Szczodrak and A. Czyzewski. "Problems of Railway Noise—A Case Study". International Journal of Occupational Safety and Ergonomics; Vol. 17, No 3, pp. 309-325, 2011.
- [6] ISO. "ISO 9613-2:1996 Acoustics, Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 2: General method of calculation"; 1996.
- [7] U. Isermann and B. Vogelsang. "AzB-2008 and ECAC Doc.29 – two modern European aircraft noise calculation models". Noise Control Engineering Journal; Vol. 58, No 4, pp. 455-461, 2010.
- [8] H. Doygun and D. Guran. "Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaraş, Turkey". Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 142, No 1, pp. 67-72, 2008.
- [9] K. Tsai, M. Lin and Y. Chen. "Noise mapping in urban environments: A Taiwan study". Applied Acoustics. Vol. 70. No 7. pp. 964-972. 2009.
- [10] A. Alesheikh and M. Omidvari. "Application of GIS in Urban Traffic Noise Pollution". International Journal of Occupational Hygiene. Vol. 2. No 2. pp. 79-84. 2010.
- [11] B. Harman, H. Koseoglu, C. Yigit. "Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey". Applied Acoustics. Vol. 112. pp. 147-157. 2016.
- [12] M. Mehdi, M. Kim, J. Seong and M. Arsalan. "Spatio-temporal patterns of road traffic noise pollution in Karachi, Pakistan". Environmental International. Vol. 37. No 1. pp. 97-104. 2011.
- [13] O. Delgado and J. Martinez; "Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario". Ciencias Espaciales. Vol. 8. No 1. pp 411-440.2015.
- [14] DAGMA. "Mapa de ruido de Santiago de Cali año 2015". [En línea] <https://www.datos.gov.co/browse?q=mapa+de+ruido> Revisado el 25 de enero de 2017.
- [15] SoundPLAN. En <http://www.soundplan.eu/english> Revisado el 25 de enero de 2017.
- [16] E. Isaaks. "An Introduction to Applied Geostatistics". Ed. Oxford University Press. 1st ed. Oxford. 1989.
- [17] B. Ripley. "Spatial Statistics". Ed. John Wiley & Sons. 2nd ed. New Jersey, 2004.
- [18] M. Crocker. Fundamentals of Acoustics, Noise and Vibration". In "Handbook of Noise and Vibration Control", chapter 2, Ed. John Wiley & Sons. 1st edition. New Jersey. 2007.
- [19] H. Kluijver and J. Stoter. "Noise mapping and GIS: optimising quality and efficiency of noise effect studies". Computers, Environment and Urban Systems. Vol. 27. No 1. pp. 85-102. 2003.
- [20] M. Stein. "Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging". Ed. Springer, 1st ed. New York. 1999.
- [21] D. Murillo; I. Ortega; J. David Carillo; A. Pardo and J. Rendón; "Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos". Revista Ingenierías USBMED, Vol. 3 No 1. pp 62-68. 2012.
- [22] R. Cañada et al. "Sistemas y análisis de la información geográfica". Ed. Alfaomega. 2da ed., Madrid. 2008.
- [23] European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise. "Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure. Final Draft," [En línea]. <http://sicaweb.cedex.es/docs/documentacion/Good-Practice-Guide-for-Strategic-Noise-Mapping.pdf> 25 de enero, 2017.
- [24] C. Echeverri, D. Murillo, G. Valencia. "Simulación de ruido de tránsito automotor como herramienta para el rediseño de rutas de transporte público colectivo en el municipio de Medellín". Revista Ingenierías Universidad de Medellín; Vol. 10, No. 18; pp 20-29. 2011.
- [25] MAVDT. "Resolución 0627 del 7 de abril de 2006 sobre ruido ambiental", 2006.

Aplicación de los ejes de Schwartz como metodología de prospectiva tecnológica al modelo universitario-empresa en el contexto colombiano

Mauricio Montoya Peláez
Politécnico Colombiano Jaime Isaza
Cadavid
mmontoya@elpoli.edu.co

Yenny Alejandra Aguirre Álvarez
Institución Universitaria Salazar y Herrera
yenny.aguirre@salazaryherrera.edu.co

Isabel Cristina Arango
Politécnico Colombiano Jaime Isaza
Cadavid
isabelarango@elpoli.edu.co

Abdul Zuluaga Mazo
Politécnico Colombiano Jaime Isaza
Cadavid
azuluaga@elpoli.edu.co

(Tipo de Artículo: Reflexión. Recibido el 19/12/2017. Aprobado el 21/02/2017)

Resumen. Han sido numerosos los trabajos generados desde la academia con el fin de evidenciar las relaciones existentes entre Empresa-Universidad-Gobierno. Este artículo pretende abordar la metodología de los Ejes de Schwartz como una de las estructuras más completas y acertadas que evidencia el modelo colaborativo existente entre estos tres actores. Para esta construcción se parte de una terminología clave, se determina el problema de investigación, luego se plantea el alcance con sus respectivos objetivos, después se realiza el desarrollo metodológico por medio de la aplicación de los ejes al contexto colombiano; para lo que se construye una lista del tema de estudio, definición del mapa con los ejes y futuros posibles, luego se analizan los resultados, y finalmente se generan conclusiones y recomendaciones. Como resultado principal de esta reflexión, se evidencia una fuerte tendencia en la transformación hacia una universidad empresarial, haciendo hincapié en la formación y la toma de riesgos, donde algunas empresas actúan incluso como universidades.

Palabras clave. Ejes de Schwartz, Empresa, Gobierno, Prospectiva tecnológica, Triple hélice, Universidad.

Application Schwartz Shafts as the methodology for prospective technological University-Enterprise model in the context colombian

Abstract. *Many studies have been generated from the academy in order to demonstrate the relationship between Company-University-Government. This article aims to address the Axes methodology Schwartz as one of the most complete and accurate evidence the existing structures collaborative model between these three actors. For this construction is part of a key terminology, the research problem is determined, then the scope with their respective goals are, and then make the methodological development through the application of the axes to the Colombian context; for which a list of the subject of study, definition map with axes and possible futures, then the results are analyzed to generate conclusions and recommendations finally built. The main result of this reflection, evidenced a strong trend in the transformation to a business college, emphasizing training and risk-taking, where some companies operate even as universities.*

Keywords. *Schwartz Shafts, Enterprise, Government, Technology Foresight, Triple Helix, University.*

1. Introducción

Este artículo busca construir y aplicar herramientas que ayuden a la validación de metodologías de mejoramiento empresarial, proyección académica y crecimiento gubernamental. Herramientas como la lluvia de ideas y el análisis PESTEL son de gran aplicación en diferentes campos, ayudando a incrementar el valor de los procesos.

En esta oportunidad serán usados para el despliegue del modelo triple hélice, considerando los cuatro ejes que lo componen: a) modelo coopectencia, b) solo pragmatismo, c) innovación cero y d) sin inversión; finalmente será una aplicación la que permita evidenciar su validez y plantear posibles retos futuros sobre la construcción del modelo.

Como parte del problema, se busca dar respuesta a la pregunta de investigación ¿Cómo se pueden evidenciar los alcances de la relación Universidad-Empresa, en temas de gestión de conocimiento, innovación y desarrollo tecnológico de la sociedad? Este planteamiento busca ser abordado por medio de la metodología de los Ejes de Schwartz.

2. Terminología y conceptos

Antes de comenzar con la descripción metodológica, se definen los conceptos de la terminología relacionada con la temática del presente artículo (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Terminología

| Término | Definición |
|-------------------------|--|
| Prospectiva | Concepto introducido por Gaston Berger en los años 50's como una nueva forma de ver el futuro. Otros autores importantes son Michel Godet, Bertrand de Jouvenel y Pierre Massé en los fines de los años 60's. De esta se puede decir: Permite tomar una actitud de contemplación para ayudar con anticipación a la acción. Por medio de exámenes de un futuro "lejano", logra anticiparse a cambios rápidos. Permite interrogarse sobre las consecuencias de introducción de nuevas tecnologías para poder mantener el control. |
| Prospectiva Tecnológica | Tentativas sistémicas para observar a largo plazo el futuro de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad con el propósito de identificar las tecnologías emergentes que probablemente produzcan mayores beneficios económicos y sociales [1]. |
| Ejes de Schwartz | Los Ejes de Schwartz permiten construir escenarios objetivos identificando un foco, las fuerzas llave y tendencias del entorno, de esta manera se logra elaborar escenarios útiles para definir esquemas de decisión posibles y de contingencia. La metodología "escenarios" de Peter Schwartz, conduce a la elección de un "escenario apuesta" que será el camino a recorrer desde el presente hacia el futuro [2]. |
| Modelo Triple Hélice | Es propuesto por Henry Etzkowitz y Loet Leydesdorff y representa la evolución del |

papel de las universidades en la sociedad basada en el conocimiento, la relación academia, empresa y gobierno. Destacar además las funciones de la universidad empresarial no solo de investigación y de enseñanza, sino también de desarrollo económico por medio del impulso hacia la universidad emprendedora [3].

El tema de estudio central del presente artículo, se basa en la Prospectiva Tecnológica; según, el profesor Carlos Cortes de la Universidad Nacional de Colombia, la prospectiva se puede segmentar de manera vertical y horizontal [4].

2.1 Segmentación vertical

- Prospectiva tecnológica
- Prospectiva social
- Prospectiva territorial
- Prospectiva estratégica

2.2 Niveles (Segmentación horizontal)

- Global: Organizaciones no gubernamentales. Por ejemplo el cambio climático.
- Sectores económicos: La informática, los automóviles, etc.
- Empresarial: Estrechamente relacionada a las estrategias de la empresa.

Antes de continuar, es importante realizar la salvedad en relación al alcance del presente artículo, a pesar que el Modelo Triple Hélice, contempla las relaciones Universidad-Empresa-Estado, por tratarse de una construcción académica y práctica, solo se realizará desarrollo metodológico en la aplicación de los Ejes de Schwartz sin incluir el tercer componente correspondiente a Estado.

Muchos autores han utilizado estos planteamientos de estrategia a partir de la utilización de prospectiva con el ánimo de generar planes de acción y procesos de toma de decisiones. Uno de esos casos, es el expuesto por Sánchez, Montoya y Montoya en su artículo: Aplicación del enfoque integrado de prospectiva y estrategia para el mejoramiento al proceso de selección docente de la Universidad Nacional de Colombia, en el cual por medio del enfoque integrado de prospectiva y estrategia, concluyen en relación a los cambios institucionales que pueden resultar de la generación de proyectos con base en propósitos de mejoramiento continuo en el área específica de estudio, en este caso, resultando estrategias puestas en marcha desde los diferentes estamentos administrativos [5].

3. Problema de investigación

Para el planteamiento del problema se recurre a la siguiente pregunta: ¿Cómo se pueden evidenciar los alcances de la relación Universidad-Empresa, en temas de gestión de conocimiento, innovación y desarrollo tecnológico de la sociedad? Será a través de esta pregunta que se buscará evaluar el paradigma académico empresarial considerando del modelo de los Ejes de Schwartz en temas de prospectiva tecnológica.

4. Alcance

La construcción de este artículo comienza con la revisión de conceptos referentes al tema de estudio, para luego utilizar la metodología de análisis de los Ejes de Schwartz al tema de prospectiva tecnológica en la relación Universidad-Empresa y finalmente concluir a la luz de los resultados.

Para comprender el desafío que tiene hoy en día la empresa y la universidad, como actores principales del presente escrito, es necesario enfrentarse a un futuro volátil, mejorando las predicciones, estimular la intuición y conducir a una acción eficaz. [6]

5. Objetivos

- Evaluar la efectividad de las relaciones Universidad-Empresa con base en la aplicación del modelo de los Ejes de Schwartz en temas de prospectiva tecnológica.
- Ampliar las relaciones académico-industriales por medio de la interacción, el emprendimiento y las alianzas con el gobierno para la promoción de proyectos y la adquisición de recursos.
- Evidenciar cómo el papel tradicional de la universidad se renueva para ayudar a la modernización de las empresas de baja y media tecnología.
- Potencializar la universidad como un recurso para mejorar los entornos de innovación y crear un régimen de economía basada en el desarrollo de la ciencia.

6. Desarrollo metodológico

Para la construcción de la metodología se parten de los pasos propuestos para la generación de prospectiva tecnológica, los cuales parten del listado de tendencias del tema de estudio, luego se diseña y se define el mapa con los Ejes de Schwartz y finalmente se plantean los retos futuros. Estos pasos serán aplicados al tema en estudio con el objeto de simular escenarios futuros en la relación Universidad-Empresa.

6.1 Lista del tema en estudio

Por medio de este primer paso se busca generar un listado de posibles tendencias, acontecimientos, variables que puedan afectar o tener incidencia sobre el tema en estudio. Dentro de algunos de los métodos utilizados para llevar a cabo este paso se tienen la lluvia de ideas, el análisis DOFA y el análisis PESTEL. Para tener una amplia perspectiva sobre los escenarios a desarrollar, se utilizarán dos de estos métodos.

6.1.1 Lluvia de ideas

Este método busca generar una lista de ideas según un tema particular, en este caso, busca conocer a manera de diagnóstico el estado actual de la universidad y la empresa en relación a la gestión de conocimiento, innovación y desarrollo tecnológico que estos dos actores le aportan a la sociedad. A continuación se listan las principales ideas, que surgen de la experiencia y observación directa de los autores, soportados en informes, noticias y datos reales.

- a. *La universidad posee grupos de investigación en pro de la inventiva y el desarrollo tecnológico.* En las diferentes universidades del país se cuenta con grupos de investigación dedicados entre muchos temas al desarrollo tecnológico. Según fuentes de Colciencias, para el año 2015, se tenían registrados 6.768 grupos por el *GrupLAC*, los cuales participan activamente convocatorias a nivel nacional. 4610 de ellos, fueron avalados y reconocidos como Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación, clasificados además en diferentes categorías, Grupos A1: 382, Grupos A: 546, Grupos B: 977, Grupos C: 1848, Grupos D: 681. [7]
- b. *La empresa posee áreas destinadas a la I+D.* Un estudio realizado por *PricewaterhouseCoopers*, validó a través de 505 entrevistas a líderes de la innovación en 467 empresas de todo el mundo, que parte del éxito en las organizaciones está en su capacidad de avanzar en innovación a partir del desarrollo de una serie de estrategias alineadas a las necesidades del cliente, desarrollo y retención de personal técnicos, comprensión de nuevos productos y tecnologías, valores agregados en servicio y tendencias, además de búsqueda y desarrollo de nuevos productos, todo esto dentro de la misma organización y gracias a sus departamentos de I+D. [8]
- c. *La empresa invierte en sus productos y contrata los servicios de la universidad para la realización de sus pruebas y análisis.* Industrias Haceb S.A. es un ejemplo de proyección universidad-empresa. A la fecha, posee dos proyectos de invención en trámite: un quemador con un nuevo calentador en apoyo de la Universidad de Antioquia, y una nueva estufa con eficiente desempeño con apoyo de la UPB. Otro ejemplo es el SENA, con el que la compañía ha realizado 4 convenios de formación especializada, para 2.600 personas, con una inversión cercana a los 700 millones de pesos. [9]
- d. *Desde las universidades se fomenta el emprendimiento y la gestión de empresas con base tecnológica e inventiva, esto abona participación en ciencia y desarrollo económico para el país.* Bolívar (2013) en su artículo de investigación, concluye "Las formas que han tomado las estrategias de formación, entre ellas los semilleros de investigación, son tantas como semilleros hay, pues no es posible siquiera afirmar que hay una sola modalidad de semillero al interior de las instituciones. Lo cierto es que por esas múltiples vías, investigación formativa o no, los semilleros han aportado a la formación de una nueva generación de investigadores que se encuentran articulados a grupos y que producen diariamente nuevo conocimiento "por placer" pero dentro de los cánones de las comunidades académicas." [10]
- e. *Distorsión del modelo de propiedad intelectual al desarrollar innovación, no hay mucha claridad sobre la atribución y la autoría en la gestión de proyectos.* En Colombia actualmente se encuentran falencias en cuanto a las leyes de propiedad intelectual y autoría en

- gestión de proyectos resultando ser una barrera principal en el desarrollo, creación y proyectos de innovación que involucren temas de propiedad intelectual, por ende se ve afectada la capacidad competitiva y desarrollo económico del país. Por esta razón es imperante según Portafolio (2011), capacitar a entidades, instituciones, entre otras organizaciones en estos temas que repercuten directamente el campo de la investigación y desarrollo como eje principal del país. [11]
- f. *Creación en algunas empresas de centros de I+D, donde se involucra a las universidades para el desarrollo de proyectos, ampliando y fortaleciendo los lazos entre la academia y la industria.* Con ayuda de entidades y corporaciones como Ruta N, Corporación Tecnova y Colciencias se desarrolla conjuntamente actividades de ciencia, tecnología e innovación para la creación de modelos de SPIN-OFF como centros de creación de I+D para el auge de servicios y productos desde las IES dinamizando la economía en el país. [12]
 - g. *Poco fomento de la innovación haciendo que se genere la “fuga de conocimiento” la cual se da cuando el trabajador logra en sus estudios avances pero no son valorados.* Tomando como referencia estudios de emigración calificada, “es importante destacar que el caso colombiano representa un gran reto para los entes gubernamentales, especialmente Colciencias, en tópicos relacionados con la centralización y sistematización oficial de la información sobre las migraciones... El marco institucional de la cooperación internacional en CTel debe trascender de los acuerdos entre países, para materializarse en oportunidades de retorno para el capital humano especializado”. [13]
 - h. *Modelos de transferencia tecnológica que incentiva a los programas de emprendimiento regional y nacional.* En su artículo de investigación, Taylor (2016), muestra como la cooperación internacional para el desarrollo (CID) juega un papel importante en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el modelo propuesto de intraemprendimiento incluyente, por lo que es una herramienta útil para enfrentar la pobreza y cerrar la brecha de la desigualdad, este como ejemplo de los muchos modelos de transferencia orientada a la gestión y economía del conocimiento. [14]
 - i. *Pocas garantías para la gestión de las ideas innovadoras, destinando recursos para el I+D con altos niveles de burocracia.* Se evidencia el gran reto de la universidad por generar alianzas y esfuerzos colectivos no solo con la empresa sino también con el estado, debido a la carencia de objetivos comunes, o iniciativas de conveniencia mutua, Orozco (2014) en su editorial plantea una pregunta “¿Están preparadas las universidades para contribuir al desarrollo social, más allá de la función de formación de talento humano?” no por el ejercicio de formación, sino por los muchos impedimentos que empresa y estado pueden generar para su participación activa. [15]
 - j. *Poca retroalimentación entre los actores, Empresa/Universidad, sobre los resultados de las investigaciones realizadas en forma conjunta.* Según estudios de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), de las políticas de innovación en Colombia, el sistema de innovación es pequeño y no se cuenta con un eje central empresarial como líder. De otro lado, el gasto en I+D es de solo el 0,2% del PIB siendo mínimo si se compara con países vecinos como Brasil y Chile. Esto ayuda a que los actores Empresa-Universidad tengan diferentes formas de retroalimentación e independencia para con el Estado como eje principal en las relaciones conjuntas. [16]
 - k. *El gobierno nacional, junto con la empresa apoyan de manera significativa la investigación y el desarrollo social de la Universidad.* Según la Revista Dinero en una de sus publicaciones, el gobierno nacional planea duplicar la inversión en las actividades de ciencia, tecnología e innovación, reunidas bajo el acrónimo de ACTI, de 0,5% hoy a 1% del PIB en 2018. Estos recursos ascenderán a \$8,8 billones. Esto como aporte significativo al desarrollo social de los diferentes ejes de investigación. [17]

6.1.2 Análisis PESTEL

Este método se basa en el entorno externo de la empresa o actor que está siendo estudiado, considera aspectos Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos, Ecológicos y Legales, que permiten identificar el impacto que éstas puedan llegar a tener de manera interna. A continuación se identifica cada uno de estos aspectos en relación a la gestión de conocimiento, innovación y desarrollo tecnológico que la universidad y la empresa le aportan a la sociedad.

- l. *Políticos: Nuevas leyes gubernamentales que restringen el uso de los recursos destinados a la investigación tecnológica.* Revista de Ciencias Administrativas y Sociales, Innovar, menciona que una de las restricciones políticas está dada por las exigencias de calidad académica, impulsadas por el Ministerio de Educación Nacional MEN, aunque han fomentado obligatoriamente la mejora en la investigación, la falta de recursos económicos, en algunas universidades, restringe la investigación tecnológica necesaria para impactar positivamente el entorno. Agregando “las exigencias de las entidades de dirección y control de la educación superior en Colombia, principalmente lo referente al registro calificado y los procesos de acreditación de alta calidad”. [18]
- m. *Económicos: Dificultad de acceso a recursos para el desarrollo y la gestión de proyectos tecnológicos en la Universidad.* Según la Revista de Ciencias Administrativas y Sociales, Innovar, quienes realizaron un artículo, sobre los estímulos y las restricciones en investigación, concluyeron, mediante una encuesta online a 193 investigadores y 63 decanos, que independiente de la cantidad de

recursos económicos que demande la investigación, al momento de hacer un balance, se puede afirmar que los recursos son una limitante para esta actividad: sólo el 15,1% de los investigadores encuestados percibe que existen suficientes recursos financieros en el país para ello. [18]

- n. *Sociales: Generación de impactos en la comunidad por medio del desarrollo de proyectos tecnológicos.* A pesar del alto nivel de corrupción que se vive internamente en Colombia, la investigación sería, siempre tiene un impacto positivo en la comunidad. Según un informe sobre el Panorama actual en innovación social, desarrollado por el BID, podría decirse que Medellín, como ciudad, y Antioquia, como departamento en que ella se encuentra, llevan unos 10 años más de experiencia en inversión social, IS que el ámbito nacional. [19]
- o. *Tecnológicos: Importación de tecnología de punta en el país por medio de empresas líderes en el mercado.* Entre las empresas líderes y algunos actores del estado se unen para importar maquinaria desde Milán Italia con tecnología de punta para el sector textil la cual permitirá a los empresarios realizar cortes y terminaciones perfectas de sus prendas. Empresas líderes en el mercado como Vestimundo, Balalaika, Grupo Éxito, grupo Esprit, entre otras cuentan con este tipo de tecnología generando ventaja en energía y ahorro de tiempo. [20]
- p. *Ecológicos: Normatividad de disminución de impactos negativos a partir de la innovación de tecnología.* Entre mejores avances hayan en innovaciones tecnológicas y desarrollos de productos, servicios, procesos se debe de buscar la minimización de impactos ambientales en la utilización de servicios blando y duros. [21]
- q. *Legales: Disminución de impuestos, partiendo del desarrollo de la tecnología.* Según la ley 1450 de 16 de Junio de 2011, en el artículo 158-1, se realiza la reducción por inversiones en investigación y desarrollo tecnológico. [22]
- r. *Mundiales: Los países vecinos abren las puertas para la investigación y el desarrollo empresarial y académico.* Se han encontrado estudios que validan como hasta aproximadamente el año 2010, existían más de treinta asociaciones con integrantes originarios de países de América Latina y el Caribe, divididas en categorías como: asociaciones de estudiantes, gremios y profesionistas; asociaciones locales de profesionistas; asociaciones de empresarios y redes de intelectuales y científicos. Cada de una de ellas con un denominador común: identificarse con un Estado- Nación y contribuir a la agenda de desarrollo de sus países. [14]

6.2 Definición de mapa con ejes

Una vez generada la lista de variables, tendencias o acontecimientos en relación al tema en estudio, en este segundo paso, se define el mapa con los Ejes de Schwartz, cuya construcción determinan los cuatro escenarios posibles en donde cada una de las ideas del

paso anterior, serán ubicadas dependiendo del enfoque o definición de cada uno de estos escenarios, estos son: Modelo coopetencia, Solo pragmatismo, Innovación cero y Sin inversión [2].

La Figura 1, muestra el resultado del cruce de los ejes, considerando dos de los actores del Modelo Triple Hélice Universidad–Empresa, generando relaciones positivas (+) y negativas (-) entre ellos.



Figura 1. Ejes de Schwartz a la relación Universidad-Estado

A continuación se explica en detalle lo que representa cada uno de estos escenarios y las relaciones existentes entre ellos.

6.2.1 Modelo coopetencia

Hace referencia al estado positivo entre ambos actores Universidad–Empresa, lo cual representa una relación gana–gana, existiendo un evidente interés de oferta y demanda por el tema de investigación en tecnología. La coopetencia se presenta a partir de relaciones complementarias, como se da entre los actores Universidad-Empresa, donde la formación de profesionales genera cambios en las empresas constantemente. [23]

6.2.2 Solo pragmatismo

En este escenario, la relación es positiva para la empresa, pero negativa para la universidad, en vista que a pesar que genera desarrollo de estrategias y operaciones en los sectores empresariales, no son considerados por ellos los diferentes modelos investigativos y de innovación desarrollados por la universidad.

6.2.3 Innovación cero

Para este escenario, los dos actores Empresa-Universidad, trabajan de manera independiente sin considerar algún tipo de acuerdo, marco, alianza o relación para la gestión de nuevos conocimientos tecnológicos e investigativos.

6.2.4 Sin inversión

En este último escenario, la relación positiva para la universidad, pero no para la empresa. En este la universidad desarrolla nuevos conocimientos partiendo de su estructura investigativa, pero no es aprovechado por la empresa para el desarrollo estratégico y operativo de la empresa.

6.3 Futuros posibles

Finalmente, es este último paso, se asocian cada una de las ideas obtenidas en el paso uno de la metodología a los escenarios anteriormente descritos en el paso dos, dando como resultado la Figura 2. Con este se logra generar entonces, dar respuesta en relación a la evidencia de los alcances en la relación Universidad-Empresa, en temas de gestión de conocimiento, innovación y desarrollo tecnológico de la sociedad a través de los futuros posibles.

7. Análisis y resultados

Una vez se realiza la asociación de cada una de las ideas obtenidas en el paso uno de la metodología a los escenarios descritos en el paso dos, se obtienen los siguientes futuros posibles, análisis y resultados.

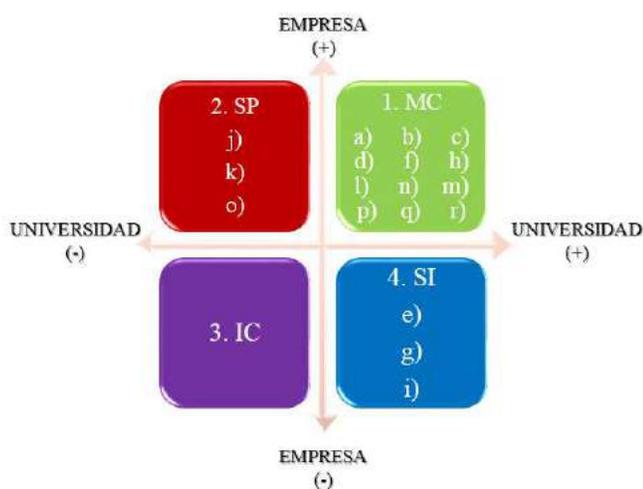


Figura 2. Aplicación de los Ejes de Schwartz a la relación Universidad-Empresa

7.1 Modelo cooperancia

Se observa una tendencia a mantener la relación gana-gana entre ambos actores, Universidad-Empresa, donde ambos aportan ayudas para la gestión de nuevo conocimiento. Muestra de ellos son los grupos de investigación, áreas de I+D en las empresas, prácticas de pruebas de laboratorios, emprendimiento de base tecnológica, fortalecimiento de lazos académicos e industria, transferencia tecnológica regional y nacional, impacto en la sociedad con proyectos tecnológicos, consideración ambiental desde la investigación, beneficios económicos y legales.

Este escenario representa el 60% de participación de todo el modelo de los ejes de Schwartz.

7.2 Solo pragmatismo

El resultado arrojado representa cómo ante la posible carencia de recursos en investigación tecnológica por parte de la universidad, la empresa buscará la manera de mitigar su problemática con recursos y estamentos legales externos. Muestra de esto son los diferentes convenios marco entre estamentos nacionales e internacionales para la socialización y gestión del conocimiento tecnológico. Este escenario representa el 20% de participación de todo el modelo de los ejes de Schwartz.

7.3 Innovación cero

No es un escenario factible para la proyección de tecnología en el país, debido a que de cierta manera, cualquiera de los dos actores evidencias comportamientos de gestión en tecnología. Este escenario representa el 0% de participación de todo el modelo de los ejes de Schwartz.

En las Universidades y Empresas, el futuro no es posible sin innovación, el concepto de innovación, es mucho más que una filosofía necesaria en el ámbito empresarial. [24]

7.4 Sin inversión

Este escenario final muestra que a pesar de que la universidad genera esfuerzos por incrementar el conocimiento, la innovación y la tecnología, existen riesgos, manejos indebidos y miedos en cuanto a la propiedad intelectual. Muestra de ello es además la deserción de los investigadores de las empresas, y la tramitología para la economía del conocimiento. Este escenario representa el restante 20% de participación de todo el modelo de los ejes de Schwartz.

8. Conclusiones y recomendaciones

Ante la efectividad de la relación Universidad-Empresa en temas de investigación e innovación tecnológica, se tienen las siguientes conclusiones:

- Se evidencia como las circunstancias locales (independiente si se trata de un país en vía de desarrollo industrial o avanzado), pueden actuar como limitantes sobre la velocidad a la cual las nuevas estructuras institucionales pueden ser constituidas.
- Es clara una fuerte tendencia en la transformación hacia una universidad empresarial, haciendo hincapié en el espíritu empresarial, empresa de la formación y la toma de riesgos, considerando además que algunas empresas también actúan como universidades.
- Se descarta la teoría de algunos observadores que pronostican que la universidad está en el proceso de ser reemplazado por otras formas de organización más especializados, tales como empresas de consultoría, debido al hecho de la necesidad de una sociedad basada en el conocimiento, donde la universidad desarrolla competencias a través de su enseñanza y el aprendizaje en función de la reproducción y la generación de conocimientos.

- Los ejes de Schwartz como metodología de prospectiva contribuyen a identificar los elementos direccionadores y bajo un enfoque prospectivo de largo plazo considerar los posibles escenarios y niveles de ocurrencia según el entorno en estudio, en este caso la relación Universidad-Empresa.
- A manera de recomendaciones se tiene:
- Es necesario continuar con la invención de nuevas funciones y las relaciones de las instituciones estáticas, promoviendo cambios hacia una mayor dependencia económica en función de la producción de conocimiento.
- Identificar y orientar las tendencias futuras en la producción de conocimiento y sus implicaciones para la sociedad, considerando la asistencia de programas de financiación nacional e internacional para estos desarrollos, con el ánimo de impulsar las actividades de innovación en formatos de la red.
- Se sugiere que los vínculos entre los sectores, que unen las diferentes etapas del proceso de innovación sufran un cambio importante en cuanto al modelo de funcionamiento academia (universidades, laboratorios), empresa (laboratorios de las grandes corporaciones, prácticas empresariales) y gobierno (fuentes de financiación).
- Se deberá continuar con el fomento de nuevos modelos movilidad, tanto de conocimiento y como de los investigadores, de forma tal que se logre articular sistemas de innovación con estructura socio-económica más "abierta" y menos "restrictiva" en el acceso público a los conocimientos que produce, por ejemplo: promoción de los sistemas de patentes.
- Se hace interesante ampliar esta metodología de prospectiva tecnológica de los ejes de Schwartz a los demás actores que forman el modelo de Cuatro Hélices, es decir, ya se generó un ejercicio sobre la Universidad y el Estado, queda el reto sobre el Estado y la Sociedad.

9. Referencias

- [1] E. Janstch. "Technological Forecasting in perspective". París, OCDE. 1967.
- [2] P. Schwartz. "The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World". Nueva York: Bantam. 1991.
- [3] R. Zaballa. "El Modelo de la Triple Hélice". Parque de innovación La Salle. Club Asturiano de la Innovación. 2011.
- [4] C. Cortes; J. Escamilla. "Gestión Tecnológica: Prospectiva". Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial. S.F.
- [5] B. Sánchez; I. Montoya; L. Montoya. "Aplicación del Enfoque Integrado de prospectiva y estrategia para el Mejoramiento al Proceso de Selección Docente de la Universidad Nacional de Colombia". Innovar, 23 (48), pp. 43-54. Consultado el 01 de septiembre de 2016. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-50512013000200005&lng=en&tlng=es.
- [6] Universidad del Valle, «Planificación Estratégica por escenarios. Peter Schwartz,» Cuadernos de Administración, n° 21, pp. 202-225, 1995.
- [7] Colciencias. "Reconocimiento y medición de grupos de investigación, desarrollo tecnológico o de innovación". Abril 11 2016. Consultado el 06 de febrero de 2017. Disponible en: <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/convocatoria/listadopreliminar-resultados-conv737-2015-grupos-versionconsulta.pdf>.
- [8] J. Ramírez. La República. Globoeconomía. "Empresas que más gastan en investigación y desarrollo no son las más innovadoras". Noviembre 07 2014. Consultado el 06 de febrero de 2017. Disponible en: http://www.larepublica.co/empresas-que-m%C3%A1s-gastan-en-investigaci%C3%B3n-y-desarrollo-no-son-las-m%C3%A1s-innovadoras_189251.
- [9] Mineducación. "Beneficios de la alianza Universidad-Empresa-Estado en la UdeA". Abril 05 2010. Consultado el 06 de febrero de 2017. Disponible en: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-221716.html>.
- [10] R. Bolívar. "Los modos de existencia de la estrategia de semilleros en Colombia como expresiones de la comprensión de la relación entre investigación formativa y la investigación en sentido estricto. Múltiples lecturas, diversas prácticas". Agora USB, V.13, N°2, Julio-Diciembre. 2013, pp. 433-441. Consultado el 06 de febrero de 2017. Disponible en: <http://revistas.usb.edu.co/index.php/Agora/article/view/113/75>.
- [11] Rodríguez, D. Portafolio. "Hora de fortalecer la Propiedad Intelectual. El sistema requiere blindarse en lo relacionado con el sistema judicial con el compromiso del público en general.". Diciembre 23 2011. Consultado el 06 de febrero de 2017. Disponible en: <http://www.portafolio.co/opinion/redaccion-portafolio/hora-fortalecer-propiedad-intelectual-126900>.
- [12] Spin-off Colombia. "Invitación a participar Fortalecimiento para entidades vinculadas, constitución y puesta en marcha de Spin-off universitarias". Agosto 19 2016. Consultado el 06 de febrero de 2017. Disponible en: http://www.utadeo.edu.co/files/collections/documents/field_attached_file/terminos_de_invitacion_spin-off_universitarias.pdf?width=740&height=780&inline=true.
- [13] G. Angulo. "Cooperación internacional y emigración calificada: diáspora científica colombiana". Revista Internacional de Cooperación y Desarrollo USB, N°3, Año 2016, pp. 99-114. Consultado el 06 de febrero de 2017. Disponible en: <http://revistas.usb.edu.co/index.php/Cooperacion/article/view/2544/2239>.
- [14] R. Taylor. "Intraemprendimiento incluyente, modelo de sostenibilidad de empleo y cooperación en el Centro de Emprendimiento Pedro Romero". Revista Internacional de Cooperación y Desarrollo USB, N°3, Año 2016, pp. 35-55. Consultado el 04 de febrero de 2017. Disponible en: <http://revistas.usb.edu.co/index.php/Cooperacion/article/view/2544/2239>.
- [15] M. Orozco. "La Integración Universidad-Empresa-Estado-Sociedad como modelo de desarrollo e innovación social". Revista Ciencia Actual USB, Vol. 3, Año 2014, Editorial. Consultado el 04 de febrero de 2017. Disponible en: <http://revistas.usb.edu.co/index.php/CienciaActual/article/view/2146/1856>.
- [16] OCDE. "Estudios de la OCDE de las Políticas de Innovación: Colombia". 2014. Consultado el 06 de febrero de 2017. Disponible en: <https://www.oecd.org/sti/inno/colombia-innovation-review-assessment-and-recommendations-spanish.pdf>.
- [17] Revista Dinero. "Colombia le apuesta a la ciencia, tecnología e innovación para alcanzar el desarrollo". Pyme. Agosto 19 2015. Consultado el 03 de febrero de 2017. Disponible en: <http://www.dinero.com/edicion-impresa/pymes/articulo/inversiones-ciencia-tecnologia-innovacion-colombia/212458>.
- [18] J. Vivares.; L. Gutiérrez; G. Castaño. "Estímulos y restricciones para la investigación en administración en Colombia". INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales, Julio-Septiembre 2013, pp. 5-16.
- [19] L. Villa; J. Melo. "Panorama actual de la innovación social en Colombia", Banco Internacional de Desarrollo BID, 2015, pp. 84.
- [20] D. Rivera; L. Velásquez. "Desde Italia llega moderna maquinaria para tecnificar el sector textil – confección de Antioquia". Inexmoda. Consultado el 03 de febrero de 2017. Disponible en: <http://www.inexmoda.org.co/prensa/Desdeitaliallegamodernamaquinaria/tabid/5838/Default.aspx>.
- [21] M. Peñaloza; F. Arévalo; R. Daza. "Impacto de la gestión tecnológica en el medio ambiente". Revista de Ciencias Sociales Vol.15, N°2, Marcaibo Junio 2009), pp. 306-316. Consultado el 03 de febrero de 2017. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-95182009000200010.
- [22] Gerence. "Incentivo tributario para quienes invierten en investigación y desarrollo tecnológico". Consultado el 03 de febrero de 2017. Disponible en: <http://www.gerencie.com/incentivo-tributario-para-quienes-invierten-en-investigacion-y-desarrollo-tecnologico.html>.
- [23] Barry Nalebuff, Adam Brandenburger, Coopetencia, Bogota: Norma, 2005.

[24] Rodríguez Castellano Arturo, Hoyos Iruarrizaga Jon, Izaguirre Olaizola Julen, M. Azucena Vicente Molina, Investigaciones Europeas de

Dirección y Economía de la Empresa, Volume 17, Issue 1, January–April 2011, pp. 17-35

Necesidad de reconocimiento y síndrome de selfie: un análisis relacional basado en minería de datos

Víctor Daniel Gil
Universidad Católica Luis Amigó
victor.gilve@amigo.edu.co

(Tipo de Artículo: Reflexión. Recibido el 06/02/2017. Aprobado el 16/02/2017)

Resumen. El uso excesivo de redes sociales en el mundo está despertando la necesidad de reconocimiento en hombres y mujeres. Estar conectado la mayor parte del día a redes sociales motiva la obsesión por los autorretratos o más conocidos como "Selfies", dando origen al moderno "Síndrome de Selfie". Este trabajo presenta un modelo de minería de datos elaborado con el programa *RapidMiner* para el análisis de sentimientos que permitió clasificar el efecto emocional (positivo / negativo) de los comentarios publicados en 250 "Selfies" de hombres y 250 "Selfies" de mujeres en la red social Facebook. Con el modelo se concluye que existe una fuerte correlación entre la necesidad de reconocimiento y "Síndrome de Selfie", la cual varía en función del género. Según el modelo desarrollado es mayor en el femenino, $r_{xy} = 0.75$, que en el masculino, $r_{xy} = 0.61$, lo que permite afirmar que el grado de relación o de asociación entre las dos variables es buena para el género femenino a diferencia del masculino, lo que indica que las mujeres constantemente están bajo una presión social estética mucho mayor que los hombres.

Palabras clave. minería de datos, necesidad de reconocimiento, redes sociales, revisión sistemática de literatura, síndrome de selfie.

Need for recognition and selfie syndrome: a relational analysis based on data mining

Abstract. *The excessive use of social networks in the world is waking the need for recognition in men and women. Be connected the greater part of the day to social networks motivates the obsession with the self-portraits or more known as "Selfies", giving rise to the modern "Selfie Syndrome". This paper presents a data mining model for the feelings analysis that allowed to classify the emotional impact (positive/negative) of the comments published in 250 "Selfies" of men and 250 "Selfies" of women in the social network Facebook. This paper concludes that there is a strong correlation between need for recognition and " Selfie Syndrome". According to the model developed is greater in the female gender, $r_{xy} = 0.75$, that the male gender, $r_{xy}= 0.61$, which allows to affirm that the degree of relationship or association between the two variables is good for the female gender unlike male, which indicates that the women are constantly under aesthetics social pressure much greater than men.*

Keywords. *data mining, need for recognition, social networks, systematic literature review, selfie syndrome.*

1. Introducción

En la última década, el creciente uso de las redes sociales en el mundo está motivando a las personas a adoptar comportamientos y actitudes narcisistas, pese a que en la mayoría de países es considerado una moda. Día a día, una gran cantidad de personas comparten autorretratos, también conocidos como “Selfies”, para satisfacer su necesidad de reconocimiento. Este trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un modelo de minería de datos que permita identificar si existe una relación entre “síndrome de selfie” y necesidad de reconocimiento.

En la revisión del estado del arte se empleó la metodología de la revisión sistemática de literatura (RSL), revisión sistemática, organizada, auditable y estructurada, que busca dar respuesta a una o más preguntas de investigación tomando como base investigaciones científicas y publicaciones previas [1]. La pregunta de investigación considera fue:

P1. ¿Cuál es la relación existente entre Necesidad de reconocimiento y Síndrome de “Selfie”? Con esta pregunta se pretende identificar si existe o no alguna relación entre ambas variables.

El resto del trabajo se divide como sigue: en primer lugar se presenta una contextualización general sobre necesidad de reconocimiento y “síndrome de selfie”, la metodología empleada y por último los resultados obtenidos. Se concluye que el grado de reconocimiento mutuo (comentarios y “me gusta”) es más fuerte para las mujeres que para los hombres, es decir, los selfies de mujeres producen un mayor impacto y respuestas en comparación a las de los hombres.

2. Revisión sistemática de literatura

La revisión sistemática de la literatura (RSL) fue formulada por primera vez en el campo de la medicina con el objetivo principal de sintetizar los resultados de investigaciones médicas previas que facilitarían la identificación de temáticas para realizar futuras investigaciones. En la actualidad, la revisión sistemática de literatura es utilizada en diferentes áreas del conocimiento [2]. Según Kitchenham (2004), la RSL es un proceso de descubrimiento de nuevo conocimiento, el cual está basado en el método científico para identificar, evaluar y analizar estudios primarios para responder una o más preguntas de investigación. Las principales fases de la RSL son:

- *Planificación de la revisión:* Se formulan las preguntas de investigación, se seleccionan las bases de datos bibliográficas donde se realizarán las búsquedas, se define el alcance y el enfoque de estudio de la investigación [3]
- *Realización de la revisión:* Se generan los resultados de la búsqueda, el listado de publicaciones, registros de evaluaciones y se extrae la información de cada una de ellas [2]
- *Informes sobre la revisión:* Se genera un reporte técnico, journal paper o conference paper, con el

objetivo de dar a conocer los resultados de la revisión [1]

La RSL supera muchas de las falencias de la revisión tradicional de literatura, las cuales hacen referencia a la formulación inadecuada o inexistencia de preguntas de investigación, la falta de criterios de inclusión y exclusión, y la falta de reproductibilidad en la búsqueda y análisis de información [3].

En la revisión se consultaron las bases de datos científicas: Scopus, IEEE Digital Library, SpringerLink, ScienceDirect, Scielo y páginas web especializadas. Las palabras clave de búsqueda utilizadas fueron: Selfie syndrome, Need for recognition, Low self esteem, Social Networks, Depression. Las ecuaciones de búsqueda utilizadas fueron:

(1) (TITLE-ABS-KEY (Need for recognition) OR (Social Networks) AND (((Selfie OR ((Esteem) OR ((Syndrome) OR (Depression))))))

(2) (TITLE-ABS-KEY (Need for recognition) AND (Social Networks) AND (((Selfie) AND ((Esteem) AND ((Syndrome) AND (Depression))))))

(3) (TITLE-ABS-KEY (Need for recognition) AND (Social Networks) AND (((Selfie) OR ((Esteem) AND ((Syndrome) OR (Depression))))))

(4) (TITLE-ABS-KEY (Need for recognition) AND (Social Networks) AND (((Selfie) AND ((Esteem) AND ((Syndrome) OR (Depression))))))

(5) (TITLE-ABS-KEY (Need for recognition) OR (Social Networks) OR (((Selfie) OR ((Esteem) OR ((Syndrome) AND (depression))))))

El rango de fechas de las búsquedas estuvo comprendido desde el año 2008 hasta el 2016. Los documentos que se consideraron en la revisión fueron: journal papers, publicaciones web especializadas, capítulos de libros y artículos de conferencias. Los documentos que se excluyeron fueron resúmenes de artículos y prefacios. La Tabla 1, presenta el número de publicaciones por tipo recopiladas en la revisión:

Tabla 1. N° de Publicaciones. Fuente: elaboración de los autores

| Tipo | Cantidad |
|---------------------------|----------|
| Artículos | 22 |
| Artículos de conferencias | 5 |
| Capítulos de libros | 3 |
| Publicaciones web | 5 |
| Total | 35 |

3. Necesidad de reconocimiento, narcisismo y síndrome de selfie

Según Richetin, Xaiz, Maravita, y Perugini (2012) la imagen corporal, el reconocimiento del cuerpo, y la autoestima son conceptos altamente conectados. El “Narcisismo” es un trastorno de la personalidad que implica la preocupación exagerada por sí mismo y sobre cómo se es percibido por los demás (Centre Can Roselló, 2012; Buffardi & Campbell, 2008). El narcisista

está interesado por la satisfacción de su vanidad y la admiración de sus propios atributos físicos e intelectuales (Buffardi & Campbell, 2008; Centre Can Roselló, 2012). Según la clínica especializada en adicciones y patología dual "Centre can Roselló", una persona narcisista se caracteriza por no escuchar, ser egoísta, preocuparse excesivamente por sí misma, sentirse superior a los demás, no aceptar responsabilidades, ser explosivos, entre otros.

La palabra "Selfie" fue seleccionada como la palabra del año en el 2013 por el diccionario inglés Oxford. En términos generales hace referencia al autorretrato realizado con una cámara fotográfica [6]. El "Síndrome de Selfie" refleja una combinación de una amplia gama de trastornos neuropsiquiátricos: estrés, obsesión, necesidad de reconocimiento, comportamiento obsesivo-compulsivo, ansiedad, manía, trastorno bipolar y dismorfia corporal [7]. En una investigación realizada por la Academia Americana de Cirugía Plástica Facial y Reconstructiva concluyó que los "Selfies" han contribuido al aumento de procedimientos en personas jóvenes: cirugías de nariz, de párpados, trasplantes de cabello, entre otras [7]. En la Tabla 2, se presenta la clasificación de los tipos "Selfies" realizada por [8]:

Tabla 2. Clasificación de "Selfies". Fuente: elaboración de los autores

| Nombre | Descripción |
|---------------------------|--|
| <i>No make-up selfies</i> | Con la cara lavada, al natural sin maquillaje |
| <i>Uglies selfies</i> | haciendo muecas |
| <i>Fit selfies</i> | mostrando la figura construida en el gimnasio |
| <i>Couplies</i> | de parejas enamoradas |
| <i>Celebrity selfies</i> | con artistas famosos |
| <i>Power selfies</i> | con personas influyentes |
| <i>Ego selfie</i> | look diario |
| <i>Promo-selfie</i> | usadas por celebridades para mostrar sus productos |
| <i>Airplane-selfie</i> | al interior de un avión |
| <i>Beach time selfie</i> | piernas bronceadas, alberca, mar, bikinis |
| <i>Tourist-Selfie</i> | crónicas de viaje a través de uno mismo |
| <i>Pregnantselfie</i> | futuras madres |

La autoestima y la necesidad de reconocimiento pueden ser predictores de la importancia personal de Facebook Błachnio, Przepiórka, y Rudnicka (2016). Por otra parte, Marshall, Lefringhausen y Ferenczi (2015), afirman que en esta red social, las actualizaciones que tienen que ver con relaciones personales y de pareja es un indicador de baja autoestima, las relacionadas a la consecución de logros personales: ejercicio físico o dieta están asociadas a personalidades narcisistas y necesitadas de atención que buscan aprobación y refuerzo en la comunidad de Facebook. Por otra parte, las relacionadas con hijos indican personalidades escrupulosas [10].

Otras investigaciones relacionadas han demostrado que el apoyo de la comunidad en esta red social tiene beneficios psicológicos similares a los sentimientos de

inclusión y pertenencia a un grupo social [11]. Sin embargo, no se puede afirmar con exactitud que las actualizaciones definen la personalidad de una persona [10]. En efecto, las actualizaciones narcisistas relacionadas con la consecución de logros personales son las que mayor grado de aceptación tienen y recaudan más "Me gusta" y comentarios, aunque algunas de esas personas en realidad desprecien dicho comportamiento, sin embargo escriben comentarios por cortesía [10]. Błachnio, Przepiórka, & Pantic (2015), afirman que el uso excesivo de Facebook podría tener efectos perjudiciales sobre la salud mental y estar asociado con ciertos problemas psicológicos.

Algunas investigaciones han demostrado que existe una fuerte correlación entre necesidad de reconocimiento y los medios de comunicación social, ver los trabajos de Lee et al., (2014), McKinney, (2012) y Mehdizadeh, (2010). La investigación realizada por Sheldon y Bryant (2016), muestra que existe una relación positiva entre los altos niveles de actividad social: viajar, ir a eventos deportivos, visitar a los amigos, etc., y estar motivados para usar Instagram como medio de documentación.

Tomarse "Selfies" en exceso" es un indicador de depresión, baja autoestima, falta de identidad e inseguridad [14]. La mayoría de pacientes diagnosticados con Trastorno Dismórfico Corporal (TDC) o "trastorno de fealdad imaginaria", enfermedad psiquiátrica que se manifiesta como una gran preocupación por un defecto imaginario de la apariencia, son adictos a tomarse autorretratos y a publicarlos [14]. La Universidad de Brunel en el Reino Unido, considera que mientras mayor sea el número de "Selfies" de una persona, sus relaciones afectivas son más superficiales, tienen un bajo sentido de privacidad, predisposición a la ansiedad y a la depresión [15].

Los "Selfieadictos" se toman una cantidad exagerada de autorretratos y al final seleccionan solo uno, hasta el punto de tratar de editar el mayor número de errores físicos que sea posible, pretendiendo mostrar la imagen de quién quieren que piensen que son [16], situación que puede afectar la integridad física de las personas, se ha dado el caso en que algunas personas intentan suicidarse si sus "Selfies" no reúnen un determinado número de "Likes" o "Me gusta", como sucedió con el caso del joven europeo Danny Bowman [16], situación que puede motivar a las personas a realizarse cirugías plásticas y a tomar decisiones banales.

4. Metodología

Se emplearon dos bases de datos que reunían los comentarios que no tenían doble sentido de 250 "Selfies" de hombres y 250 "Selfies" de mujeres y se registró el número de "Me gusta" en cada uno de ellos. La base de datos estaba conformada por dos columnas, la primera contenía el tipo de sentimiento; positivo o negativo, la segunda el comentario del "Selfie". En cada una de las bases de datos se clasificaron 70 comentarios, los 180 comentarios restantes fueron clasificados por el modelo.

En total se emplearon 500 comentarios. Los comentarios de los selfies para el género femenino fueron realizados por más mujeres que hombres al igual que los comentarios para el género masculino. En la Tabla 3, se presenta la estructura de las bases de datos:

Tabla 3. Estructura Base de Datos. Fuente: elaboración de los autores

| Sentimiento | Comentario |
|-------------|--|
| Positivo | Divinos ojos, das envidia |
| Positivo | Espectacular, divina !! |
| ? | Espero distinguirte pronto |
| ? | No me regalas tu sobrado o tu esposa es celosa |
| Negativo | Así es siempre mentiras y más mentiras |
| ? | Que ruda tomándose esas fotos! |
| Negativo | Yo le regalo mi gripa, así usted descansa y yo a la calle... |
| Positivo | muy lindo torso, felicitaciones |
| ... | ... |

El modelo fue desarrollado en el software *RapidMiner*, el cual permite ejecutar procesos de análisis de datos mediante el encadenamiento de operadores a través de un entorno gráfico [17]. Es utilizado en investigación, educación, capacitación, creación rápida de prototipos y en aplicaciones empresariales [17]. A continuación, se describen los principales operadores del modelo los cuales están conectados en un orden lógico y secuencial [18] citado por [19]:

- *Pre - proceso*: introduce un proceso dentro de otro. Un subproceso puede ser considerado como una unidad pequeña de un proceso. Una vez que se completa la ejecución de un subproceso, el flujo se devuelve al proceso inicial.
- *Multiplicador*: copia el objeto de entrada a todos los puertos de salida que están conectados sin modificarlo.
- *Remoción de atributos inútiles*: elimina atributos inútiles de la base de datos. Los umbrales para atributos inútiles son especificados por el usuario
- *Filtro de entrenamiento*: es el operador raíz más exterior al operador de cada proceso.
- *Curva de aprendizaje*: itera sobre cada subproceso todas las combinaciones posibles de parámetros definidos.
- *Árbol de decisión*: genera un árbol de decisión para la clasificación de datos nominales y numéricos.
- *Modelo final*: devuelve el objeto de salida especificado de la colección total de datos.
- *Rama*: consta de dos *sub-procesos* pero ejecuta sólo un subproceso a la vez dependiendo de la condición. Es similar a la declaración "if-then-else", donde una de las dos opciones se selecciona en función de los resultados de la condición especificada.

Todos los procesos de descubrimiento de nuevo conocimiento, así como los modelos de minería de datos para la identificación de patrones en grandes volúmenes de información, requieren la comprensión exhaustiva de la manera de cómo se van a aplicar éstas técnicas, métodos y herramientas en la vida real [20]. La Figura 1,

se presenta el diagrama estructural del modelo desarrollado.

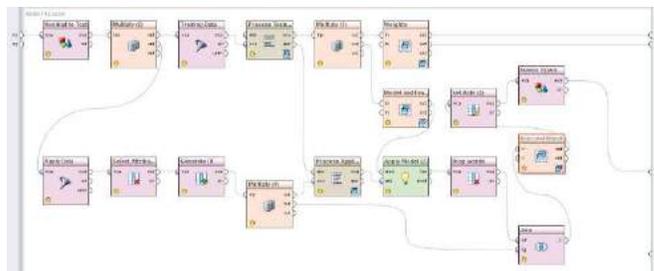


Figura 9. Diagrama estructural del modelo desarrollado

El modelo desarrollado clasifica los comentarios de cada uno los "Selfies" que no fueron clasificados en la base de datos de entrada (positivos / negativos), identifica las palabras más importantes de cada comentario que determinan los sentimientos positivos o negativos y por último asigna una puntuación. En la Tabla 4, se presenta un cuadro resumen del resultado final arrojado por el modelo. En la primera columna se clasifican los comentarios como positivos o negativos, en la segunda columna el puntaje de cada comentario en una escala de 0 a 100, donde una mayor puntuación significa un sentimiento más positivo y en la tercera el comentario de cada "Selfie".

Tabla 4. Resultado del Modelo. Fuente: elaboración de los autores

| Sentimiento | Puntaje | Comentario |
|-------------|---------|---|
| Positivo | 80 | Hermosa creación de Dios |
| Positivo | 78 | Ojitos. Gracias por darle alegrías a mi vida al poder contemplar tu belleza |
| Positivo | 78 | Pareces una estrella de plata |
| Positivo | 77 | Divina, ese color de pelo queda divino |
| Positivo | 76 | Hermoso, pareces un príncipe |
| Positivo | 75 | Bellezas las dos, radiantes |
| Positivo | 75 | Hermosa, como todos los felinos... |
| Positivo | 74 | Simplemente, Hermosa |
| ... | ... | ... |

5. Resultados

La Figura 2 y Figura 3 presentan las palabras más importantes de los comentarios que fueron clasificados como sentimientos positivos y negativos en la base de datos de los hombres. En esta se pueden identificar tópicos y términos relevantes que frecuentemente son utilizados cuando las personas expresan sentimientos positivos.

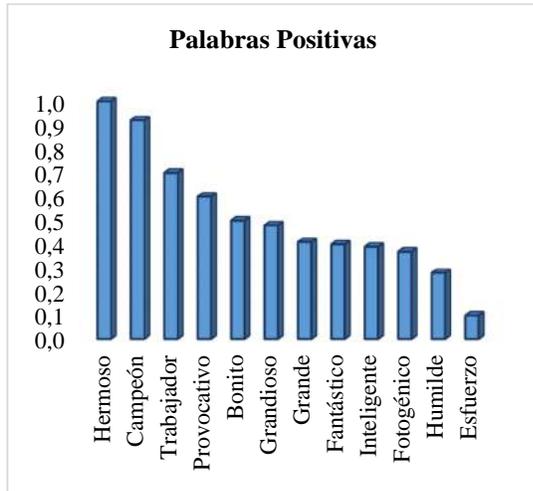


Figura 2. Peso Vs Palabra

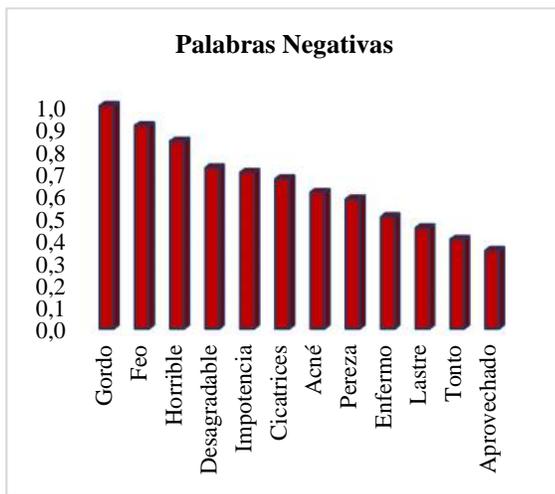


Figura 3. Peso Vs Palabra

La Figura 4 y Figura 5 presentan las palabras más importantes de los comentarios que fueron clasificados como sentimientos positivos y negativos en la base de datos de las mujeres.

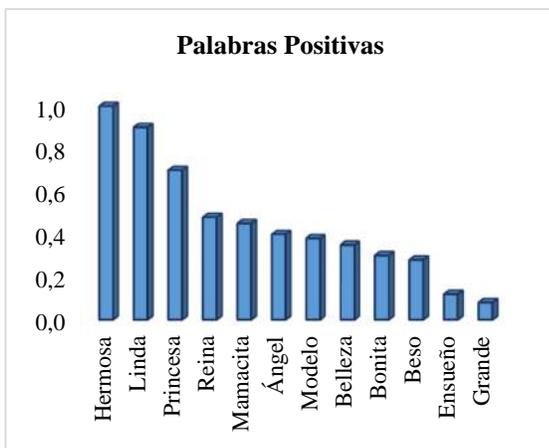


Figura 4. Peso Vs Palabra

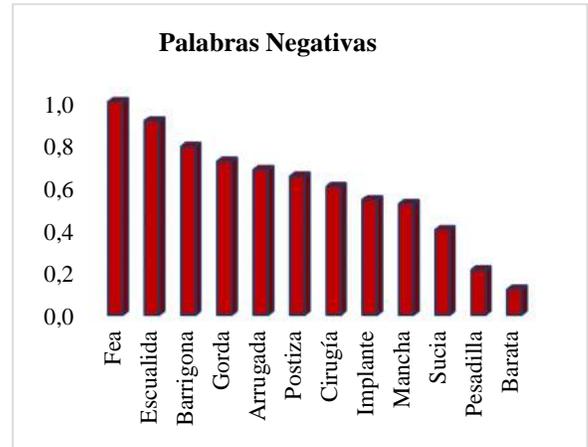


Figura 5. Peso Vs Palabra

Para el caso de los hombres el modelo clasificó 108 comentarios positivos y 72 negativos, en el caso de las mujeres 143 positivos y 37 negativos. Se determinó el coeficiente de correlación de *Pearson* entre las puntuaciones arrojadas por el modelo y el número de "Me gusta" de cada "Selfie" en las dos bases de datos. Ver ecuación (1):

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{x^2} \sqrt{y^2}} \quad (1)$$

donde r_{xy} es la covarianza de (X,Y), $\sqrt{x^2}$ es la desviación típica de la variable X y $\sqrt{y^2}$ es la desviación típica de la variable Y.

Se debe aclarar que el coeficiente de *Pearson* nos ofrece información del grado de asociación o de relación entre dos variables, pero no señala causalidad. Es decir, no informa sobre que variable es causa y cuál es la que sufre la influencia de otra. En la Tabla 5, se presenta los resultados del coeficiente de correlación de *Pearson* para el género masculino, en la Tabla 6, los resultados para el género femenino:

Tabla 5. Coeficiente *Pearson* Hombres. Fuente: elaboración de los autores

| | Puntaje | Nº de "Me gusta" |
|---------------|---------|------------------|
| Puntaje | 1 | |
| Nº "Me gusta" | 0,6154 | 1 |

Tabla 6. Coeficiente *Pearson* Mujeres. Fuente: elaboración de los autores

| | Puntaje | Nº de "Me gusta" |
|---------------|---------|------------------|
| Puntaje | 1 | |
| Nº "Me gusta" | 0,7565 | 1 |

El valor del coeficiente de correlación de *Pearson* es positivo en ambos casos, es decir, existe una correlación positiva y directa entre las dos variables analizadas. Sin embargo, dicha correlación varía en función del sexo, según el modelo desarrollado existe una mayor correlación en el género femenino, $r_{xy} = 0.75$, que en el masculino, $r_{xy} = 0.61$, lo que permite afirmar que las

mujeres constantemente están bajo una presión estética social mucho más fuerte que los hombres.

6. Conclusiones

A pesar de que la mayoría de los sitios de redes sociales en línea como Facebook, Instagram y Twitter fueron lanzados en la última década, actitudes y comportamientos narcisistas han aumentado a nivel mundial debido a la dinámica que se mueve al interior de las mismas, lo que lleva a las personas a sobreestimar sus habilidades y tener una excesiva necesidad de admiración y reconocimiento externo.

La necesidad de reconocimiento es una necesidad humana ligada al bienestar psicológico y como todo, los seres humanos lo buscan entre sus pares de muchas formas. La constante necesidad de exponer la vida personal a través de autorretratos es una señal de baja autoestima e inseguridad que pone en evidencia la necesidad de ser aceptados por los demás.

7. Referencias

- [1] B. Kitchenham, "Procedures for Performing Systematic Reviews," 2004.
- [2] M. Staples and M. Niazi, "Experiences using systematic review guidelines," *J. Syst. Softw.*, vol. 80, no. 9, pp. 1425–1437, Sep. 2007.
- [3] B. Kitchenham and P. Brereton, "A systematic review of systematic review process research in software engineering," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 55, no. 12, pp. 2049–2075, Dec. 2013.
- [4] J. Richetin, A. Xaiz, A. Maravita, and M. Perugini, "Self-body recognition depends on implicit and explicit self-esteem," *Body Image*, vol. 9, no. 2, pp. 253–260, 2012.
- [5] Centre Can Roselló, "El síndrome Selfie: de la moda al narcisismo," 2012. .
- [6] L. Qiu, J. Lu, S. Yang, W. Qu, and T. Zhu, "What does your selfie say about you?" *Comput. Human Behav.*, vol. 52, pp. 443–449, Nov. 2015.
- [7] R. Rese, "Selfie syndrome: An Infectious Gift of IT to Health Care," vol. 2, no. 4, 2015.
- [8] C. Gonzalez, "14 tipos de 'selfies,'" Merca2.0 Mercadotecnia. publicidad y medios, 2014.
- [9] A. Błachnio, A. Przepiórka, and P. Rudnicka, "Narcissism and self-esteem as predictors of dimensions of Facebook use," *Pers. Individ. Dif.*, vol. 90, pp. 296–301, 2016.
- [10] T. C. Marshall, K. Lefringhausen, and N. Ferenczi, "The Big Five, self-esteem, and narcissism as predictors of the topics people write about in Facebook status updates," *Pers. Individ. Dif.*, vol. 85, pp. 35–40, Oct. 2015.
- [11] C. Valentini, "Is using social media 'good' for the public relations profession? A critical reflection," *Public Relat. Rev.*, vol. 41, no. 2, pp. 170–177, Jun. 2015.
- [12] A. Błachnio, A. Przepiórka, and I. Pantic, "Internet use, Facebook intrusion, and depression: Results of a cross-sectional study," *Eur. Psychiatry*, vol. 30, no. 6, pp. 681–684, 2015.
- [13] P. Sheldon and K. Bryant, "Instagram: Motives for its use and relationship to narcissism and contextual age," *Comput. Human Behav.*, vol. 58, pp. 89–97, 2016.
- [14] W. Patterson, O. Bienvenu, P. Chodyncki, C. Janniger, and R. Schwartz, "Trastorno dismórfico corporal," *Int. J. Dermatol.*, vol. 40, no. 11, pp. 688–690, 2001.
- [15] J. Mendoza, "De la moda al narcisismo," *Revista Multimedia para Estudiantes*, 2015.
- [16] A. Molloy, "'Selfie obsessed' teenager Danny Bowman suicidal after failing to capture 'the perfect selfie,'" *Independent*, 2014. .
- [17] Wikipedia, "RapidMiner," 2015.
- [18] RapidMiner, "RapidMiner Studio Manual." New York, pp. 31–39, 2014.
- [19] V. Gil, "Data Mining Applied to the Detection of Desertion in Young Offenders," *Ing. USBMed*, vol. 7, no. 2, pp. 61–66, 2016.
- [20] M. Manies y U. Nikual. La elicitación de requisitos en el context de un proyecto software. *Revista Ingenierías USBMed*, Vol. 2, No. 2, Jul-Dic 2011.