

Revista de



TECNOLÓGICO

RIDTEC | Vol. 13, N.º 1, enero - junio 2017

ISSN 1680-8894

Edición Semestral

Publicación Regional

Revista indexada en

latindex

www.latindex.unam.mx



Director del Comité Editorial

Dra. Deyka García

Dirección de Investigación, UTP¹

Miembros

Dr. Carlos Medina,

Facultad de Ingeniería Eléctrica, UTP¹

Dra. Jazmina Urriola

Dirección de Investigación y Desarrollo (I+D), SENACYT²

M.Sc. Julio Mario Daza Escorcia

Docente Investigador³ y Estudiante Doctorando⁴

M.Sc. Jesús Javier Alcantar Peña

Asistente de Investigación⁵

Dr. Frederick Wittel

Docente Administrador⁶

Dr. David Álvarez

Docente Investigador⁷

Afiliaciones

1. Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
2. Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), Panamá
3. Politécnico de la Costa Atlántica, Colombia
4. Universidad de Valencia, España
5. Universidad de Texas en Dallas, Estados Unidos.
6. Assoc. Dean of Math, Science, & Health Professions at Richland College, Dallas, Estados Unidos.
7. Universidad de Los Andes - Bogotá, Colombia.



Ing. Libia Batista

Directora

Licda. Sandra Siebert

Sr. Armando Pinillo

Mercadeo y Ventas

Sección de Diseño Gráfico

Diseño y diagramación

Licdo. Rafael Saturno

Idea y diseño original de la portada

Lcda. Klenya Morales

Corrección de estilo

Lic. Huriviades Calderón

Coordinación y logística

Dirección de Investigación, UTP.

Escribir en I+D Tecnológico

<http://utp.ac.pa/publicaciones-digitales-de-la-revista-de-id-tecnologico>

Plataforma para la Recepción de Artículos

<http://www.redinvestigadores.utp.ac.pa/revista+D/openconf/openconf.php>

© Derechos reservados, UTP

Impreso en Panamá, Ciudad de Panamá

Imprenta de la Universidad Tecnológica de Panamá

Tiraje: 300 ejemplares.

resentación

La Universidad Tecnológica de Panamá se complace en presentar a la comunidad científica en general su primera edición del año 2017 de la Revista de I+D Tecnológico, correspondiente al volumen 13, número 1. Desde su lanzamiento en el año 2002, la RIDTEC se ha constituido en una plataforma importante para que docentes e investigadores de la UTP, del país y de la región, puedan divulgar sus trabajos científicos. La Revista I+D Tecnológico ha crecido y se ha fortalecido en estos 15 años de existencia, logrando la indexación en Latindex en el año 2013.

En el primer artículo de este volumen se presenta una herramienta de inyección de fallos y la metodología para la realización de campañas de inyección de Single-Event-Upsets (SEUs) en microprocesadores Commercial-off-the-shelf (COTS) mediante un método que utiliza las ventajas ofrecidas en las infraestructuras de depuración de los microprocesadores actuales. Además, se presenta un depurador estándar de GNU (GDB) para la ejecución y depuración de los programas de pruebas y los experimentos desarrollados sobre microprocesadores reales, así como en las máquinas virtuales, demuestran la viabilidad y la flexibilidad de la propuesta como una solución de bajo coste para evaluar la fiabilidad de los microprocesadores COTS.

En el siguiente artículo se presenta la predicción exacta del tiempo como factor importante para el éxito del sector agrícola. En el mismo se utiliza un modelo informático en el que el usuario puede obtener pronósticos basados en datos reales introduciendo simplemente el día y el mes a través de una interfaz gráfica con resultados claros y fáciles de visualizar.

El tercer artículo tiene como objetivo medir la incidencia de la investigación y desarrollo e innovación en el desarrollo de los países, a través de la estimación de modelos econométricos de corte transversal, en los que la variable dependiente está representada por índices de desarrollo y las variables explicativas son gastos de

investigación y desarrollo e índice de innovación. Los resultados evidencian que la innovación incide sobre el desarrollo económico y social de los países.

José Luis Rodríguez García y sus colaboradores, presentan un interesante artículo sobre cantidades infinitas de información y la gestión de la misma. De allí la necesidad en procesar, transformar y gestionar insumos e información para darle paso al conocimiento lo cual requiere de personas, herramientas, software especializados, entre otras, que permitan la utilización adecuada y óptima de dicho conocimiento. La metodología del presente consiste en la revisión basada en los procesos y métodos de los avances de la tecnología basada en gestión del conocimiento dentro de las organizaciones, se exploran comparativamente software e infraestructuras identificadas, las que son usadas por las empresas para lograr dicha gestión, partiendo desde los requerimientos de recursos y sus similitudes.

El quinto artículo presenta diversos aspectos de la implementación de un prototipo de sistema de venta de bebidas automático basado en visión artificial. Este sistema incorpora tecnologías de tipo sin contacto incluyendo reconocimiento facial para la identificación de usuario y reconocimiento de gestos para la selección de la bebida. Este prototipo se presenta como una plataforma de pruebas para explorar la aceptación de estas tecnologías en los usuarios y para compararla con otras tecnologías como las pantallas táctiles.

El trabajo presentado por Luiyiana Pérez y colaboradores muestra la arquitectura empresarial (AE) como una de las piezas fundamentales para la Gestión Empresarial Moderna, para obtener una estrategia concreta e innovadora que defina la relación de alineación de procesos, recursos humanos, productos, servicios, tecnología y aplicaciones con el fin de alinearla con la estrategia operacional del negocio y bien detallada para la implementación de una plataforma organizacional y tecnológica capaz de gestionar la información de los procesos de la trazabilidad del ganado vacuno.

El objetivo del trabajo presentado por Freddy González y Alexis Mojica se focaliza en una actualización del mapa de declinación magnética del istmo de Panamá para un lapso temporal comprendido entre los años 2010 a 2014. Para tal propósito se utilizó el modelo IGRF-11 de la International Association of Geomagnetism and Aeronomy, cuya revisión se lleva cabo cada cinco años. Este modelo toma en consideración el constante cambio que experimenta el campo magnético terrestre y su influencia en la declinación magnética; estos elementos son de vital importancia para la determinación de la dinámica, y por ende la actualización de los niveles de exactitud de la cartografía que posteriormente pueda servir de soporte a sistemas de navegación aéreo y/o marítimo y a la determinación del Geoide. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la declinación magnética experimenta un desplazamiento hacia el sector occidental del istmo de Panamá.

Las autoras Nadia E. Lee y Yazmina Villarreal a través del presente artículo, documentan la experiencia en el desarrollo del proyecto Kiosco Informativo Interactivo de la Universidad Tecnológica de Panamá - KINFO-UTP bajo el sistema operativo de escritorio Windows y dispositivos móviles que soporten una librería gráfica para la manipulación de gráficos 3D a todos los niveles, cuyo propósito es orientar a los visitantes y a la comunidad universitaria de forma rápida y dinámica con información sobre la ubicación de determinada instalación de la Universidad, tales como: facultades, laboratorios, aulas de clase y oficinas administrativas. KINFO-UTP, fue desarrollado haciendo uso de las tecnologías de mundos virtuales, motores gráficos y lenguajes de programación web, para crear la interoperabilidad entre un diseño 3D y la interface web de la aplicación. KINFO-UTP trabaja.

Aguilar Madrid y Valdés Bosquez muestran en su trabajo el efecto que tiene la entrada de energías renovables en el parque de generación de Panamá a través de un algoritmo de minimización del costo de producción a una parte significativa del parque de generación utilizando datos históricos de plantas presentes en el sistema y de simulaciones en el caso de futuros proyectos de generación eólica y fotovoltaica. La planificación se realiza a través de la programación no lineal mixta-entera (MINLP). La implementación de este modelo se ilustra a través de casos de estudio compuestos por la ejecución del despacho en un día representativo de cada mes del año. Se presenta un caso de estudio base con un plantel hidrotérmico que describe la situación en el año 2013. Los resultados del

despacho diario se utilizan como una herramienta para la planificación anual que contempla requerimientos de reserva, estudio del costo de la energía (COE).

Stephania M. Rodríguez junto a sus colaboradores de la Universidad Tecnológica de Panamá presentan un estudio del comportamiento dinámico de dieciséis (16) puentes de concreto en la República de Panamá. Durante esta investigación, se monitoreó la frecuencia de vibración de los puentes utilizando sensores económicos ensamblados en placas tipo Arduino. Como resultado del monitoreo se encontró una fuerte correlación entre la longitud de los puentes y sus respectivos periodos de vibración; así, independientemente del tipo de viga que forma parte de la estructura del puente, el periodo de vibración puede ser estimado en función de las luces del puente. Adicionalmente, se identificó puentes que muestran un comportamiento que se aleja de la tendencia general.

Finalmente, un modelo de la relación que existe entre la gestión del conocimiento y la calidad de las operaciones del sector hotelero es presentado. La gestión del conocimiento se descompone en generación del conocimiento, disseminación, interpretación compartida y capacidad de respuesta del conocimiento. Se analiza entonces el efecto que ejercen dichas variables asociadas a la gestión del conocimiento en la calidad de las operaciones del sector bajo estudio con resultados que revelan una fuerte dependencia entre las variables generación del conocimiento, disseminación del conocimiento, capacidad de respuesta del conocimiento y calidad de las operaciones. Sin embargo, la relación entre la interpretación compartida del conocimiento y la capacidad de respuesta resultan no significativas.

Invitamos a los investigadores de la región, para compartir por este medio sus trabajos, en beneficio del fortalecimiento de la gestión y desarrollo de proyectos de I+D con alto contenido científico y tecnológico.

DRA. DEYKA GARCÍA
Directora del Comité Editorial
Junio de 2017

Contenido

- | | | | |
|-----------|--|-----------|--|
| 5 | Evaluación de la fiabilidad de microprocesadores COTS mediante las infraestructuras de depuración On-Chip
Dependability Evaluation of COTS Microprocessors via On-Chip debugging facilities
José Isaza-González Alejandro Serrano Cases Felipe Restrepo-Calle Sergio Cuenca-Asensi Antonio Martínez-Álvarez | 40 | Prototipo de un dispensador automático de bebidas basado en visión artificial para estudio de experiencia de usuario
Computer vision-based automatic beverage dispenser prototype for user experience studies
Fernando Merchán Elba Valderrama Martín Poveda |
| 15 | Sistema multiagente para la predicción de clima para usos agrícolas
Multi-agent system for weather forecasting for agricultural purposes
Ricardo Fuentes Covarrubias Andrés Gerardo Fuentes Covarrubias Adalberto Iriarte Solís María Palmira González Villegas Liliana Zamora Cárdena Albert Alejandro González Ochoa | 51 | Estrategia de innovación de la arquitectura empresarial: una alternativa para la gestión de la trazabilidad del ganado vacuno en las PyMEs pecuarias de Panamá
Enterprise architecture innovation strategy: an alternative for the management of cattle traceability in the Panama SMEs
Luiyiana Pérez Ramfis Miguelena Abdoulaye Diallo |
| 25 | Investigación & desarrollo e innovación como factores de desarrollo
Research & development and innovation as factors of development
Guillermo Díaz | 62 | Construyendo mapas de declinación magnéticas y sus anomalías para el Istmo de Panamá desde el 2010 hasta el 2014
Building a magnetic declination maps and its anomalies for the Isthmus of Panama during 2010 to 2014
Freddy González Alexis Mojica |
| 31 | Una mirada breve al software para gestión del conocimiento
A review of software knowledge management
José Luis Rodríguez García Marvin Josué Aguilar Romero Nelson Roberto Raudales García | 66 | Entornos virtuales 3D: Tecnología innovadora para mejorar el aprendizaje significativo
3D Virtual environments: Innovative technology to improve meaningful learning
Nadia E. Lee Yazmina Villarreal |

Contenido

71

Impacto de la entrada de la generación eólica y fotovoltaica en Panamá

Impact of wind and photovoltaic generation input in Panama

Ernesto Aguilar Madrid | Lisnely Valdés Bosquez

91

Influencia de la gestión del conocimiento en la calidad de las operaciones de empresas hoteleras en Panamá

Influence of knowledge management on the quality of operations of hotel enterprises in Panama

Rita Araúz | Joselinn Quintero

83

Estudio del período de vibración de puentes de concreto en Panamá

Study of vibration period for concrete bridges in Panama

Stephania M. Rodríguez | José M. Gallardo | Osvaldo A. Araúz

Revista indexada en:



www.latindex.unam.mx

Evaluación de la fiabilidad de microprocesadores COTS mediante las infraestructuras de depuración On-Chip

Dependability Evaluation of COTS Microprocessors via On-Chip debugging facilities

José Isaza-González^{1*}, Alejandro Serrano-Cases², Felipe Restrepo-Calle³, Sergio Cuenca-Asensi⁴, Antonio Martínez-Álvarez⁵
^{1,2,4,5}Departamento de Tecnología Informática y Computación, Universidad de Alicante, ¹Centro Regional de Coclé, Universidad Tecnológica de Panamá, ³Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia
¹jisaza@dtic.ua.es, ²aserrano1@dtic.ua.es, ³ferestrepoca@unal.edu.co, ⁴sergio@dtic.ua.es, ⁵amartinez@dtic.ua.es

Resumen— Este artículo presenta una herramienta de inyección de fallos y la metodología para la realización de campañas de inyección de Single-Event-Upsets (SEUs) en microprocesadores Commercial-off-the-shelf (COTS). Este método utiliza las ventajas que ofrecen las infraestructuras de depuración de los microprocesadores actuales, además del depurador estándar de GNU (GDB) para la ejecución y depuración de los programas de pruebas. Los experimentos desarrollados sobre microprocesadores reales, así como en las máquinas virtuales, demuestran la viabilidad y la flexibilidad de la propuesta como una solución de bajo costo para evaluar la fiabilidad de los microprocesadores COTS.

Palabras claves— Commercial-off-the-shelf (COTS), depuración integrada en el chip, efectos de la radiación, fiabilidad de microprocesadores, inyección de fallos, errores lógicos.

Abstract—This paper presents a fault injection tool and methodology for performing Single-Event-Upsets (SEUs) injection campaigns on Commercial-off-the-shelf (COTS) microprocessors. This method takes advantage of the debug facilities of modern microprocessors along with standard GNU Debugger (GDB) for executing and debugging benchmarks. The developed experiments on real boards, as well as on virtual machines, demonstrate the feasibility and flexibility of the proposal as a low-cost solution for assessing the reliability of COTS microprocessors.

Keywords— Commercial-off-the-shelf (COTS), on-chip debug, radiation effects, microprocessors reliability, fault injection, soft-error.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 26 de agosto de 2016

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

En los últimos años, el uso de los dispositivos *commercial-off-the-shelf* (COTS) representa una atractiva alternativa a los componentes diseñados específicamente para trabajar en ambientes de radiación (conocidos como *radiation-hard* o *rad-hard*). Mediante el uso de dispositivos COTS, es posible reducir significativamente los costes y el tiempo de desarrollo de los sistemas en varios órdenes de magnitud. Además, hay una alta disponibilidad de estos dispositivos en el mercado que ofrecen menor consumo de energía y mayor rendimiento que sus contrapartes *rad-hard* [1].

Sin embargo, la miniaturización de los componentes electrónicos ha provocado consecuencias adversas en la fiabilidad de los sistemas basados en procesadores COTS [2], [3]. En estos sistemas, el efecto de la radiación puede causar fallos de ejecución conocidos como *soft-errors*. Entre ellos, los *Single-Event-Upsets* (SEUs) o alteraciones de evento único [4]. Estos no producen un daño permanente, pero pueden causar un mal funcionamiento de un circuito o un fallo del sistema, que puede ser catastrófico. Un SEU se produce por el impacto de una partícula en el silicio que genera una transición indeseada en el estado de un transistor y

pudiendo provocar el cambio de la información almacenada en una celda de memoria o en un *flip-flop*.

La presencia de SEUs es cada vez más frecuente en los circuitos electrónicos, y por lo tanto es una preocupación creciente en varios dominios de aplicación. Los SEU no solo afectan a los sistemas que operan en entornos hostiles de radiación como los aeroespaciales, sino también a sistemas que operan a bajas altitudes incluso a nivel del mar como los sistemas militares, de automoción, entre otros [5].

La inyección de fallos *hardware* es una técnica que ha sido ampliamente utilizada para evaluar la fiabilidad de estos sistemas en presencia de fallos de esta naturaleza. Los métodos de inyección de fallos *hardware* se pueden clasificar en tres categorías: inyección de fallos físicos, inyección de fallos lógicos mediante la emulación o simulación de circuitos, y la inyección de fallos lógicos mediante las infraestructuras de depuración de procesadores [1].

La inyección de fallos físicos utiliza haces de radiación o de luz láser para inducir SEUs en los circuitos integrados. Este método tiene la ventaja de causar fallos *hardware* reales en los sistemas. Sin embargo, estos experimentos son muy caros y requieren instalaciones especiales [6].

La inyección de fallos lógicos por emulación o simulación de circuitos se realiza utilizando plataformas de emulación de *hardware*, y lenguajes de descripción *hardware* (*Hardware Description Languages* o HDLs), respectivamente [7]. La inyección de fallos se implementa mediante el modelo de fallo *bit-flip*, en el que el contenido de una celda de memoria se invierte en el momento de la inyección. Comúnmente, los circuitos que se pretende evaluar (*Device Under Tests* o DUTs) se modelan mediante lenguajes HDLs y se prototipan en uno o más dispositivos de lógica programable (*Field Programmable Gate Arrays* o FPGAs). Para inyectar fallos sobre el prototipo *hardware* es necesario construir recursos lógicos específicos dentro del circuito con fines de depuración, lo que permite reunir información sobre el funcionamiento del circuito en presencia de fallos, y evaluar el comportamiento de los mecanismos de tolerancia a fallos [8]–[10]. Otro enfoque lleva a cabo la inyección de fallos mediante el uso de las capacidades de reconfiguración de las FPGAs [11]. Estas técnicas tienen severas limitaciones en la evaluación de la fiabilidad de procesadores COTS, ya que no es común

que los fabricantes publiquen modelos o descripciones RTL detalladas de sus procesadores.

La tercera técnica se basa en la utilización de las infraestructuras de depuración integradas en los propios procesadores, para realizar la inyección de fallos y observar sus efectos. Estas técnicas no requieren, por tanto, el desarrollo de bloques *hardware* específicos adicionales como en el caso anterior. Las estructuras de depuración integradas están destinadas originalmente a otros fines. Un ejemplo son las cadenas *test Boundary Scan* o las infraestructuras de depuración integradas (*On-Chip Debugging* u OCD).

En concreto, las infraestructuras OCD permiten depurar el código que se ejecuta en el procesador desde un computador externo. Este computador utiliza una herramienta *software* o depurador que se conecta al OCD mediante un puerto específico (generalmente serie). Este *software* permite controlar la ejecución y al mismo tiempo observar el estado de los elementos internos del procesador (memoria, registros, puertos, etc.) en cada momento [12], [13]. Con esta aproximación se pueden emular fallos en dispositivos reales (no meros prototipos o modelos), sin embargo, su aplicación está limitada por las capacidades de OCD, e implica el diseño de una configuración experimental, incluyendo *hardware* y *software*, para cada sistema.

La metodología que se propone en este trabajo, está basada en una nueva herramienta de bajo coste para inyección de fallos lógicos, concebido para evaluar la tolerancia a SEUs de procesadores COTS. Esta herramienta no requiere el diseño adicional de módulos de *hardware* externo o interno, solo hace uso de un recurso común integrado (temporizador) para acelerar la inyección de fallos. Adicionalmente, utiliza las infraestructuras de depuración *hardware* tales como OCD, y el depurador estándar de GNU (GDB). La principal ventaja de este método es la alta portabilidad a diferentes arquitecturas de procesadores y plataformas de emulación / simulación. Por otra parte, nuestra propuesta es compatible con cualquier tipo de procesador (*softcore* y *hardcore*) y específicamente dispositivos COTS.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se resumen los trabajos anteriores con respecto a los métodos de inyección de fallos en componentes COTS; la sección 3 detalla la herramienta y la metodología propuesta; en la sección 4 se analizan

los resultados experimentales obtenidos en la evaluación de diferentes microprocesadores y extiende nuestra propuesta presentada en [14] que además de inyección de fallos sobre el banco de registros del procesador se incluyen los resultados obtenidos sobre la memoria RAM (*Random Access Memory*); finalmente, la sección 5 presenta las conclusiones del trabajo y propone algunas mejoras en el futuro.

2. Trabajos previos

Se han propuesto varios trabajos para evaluar la tolerancia a fallos y la fiabilidad de los microprocesadores COTS en presencia de fallos tipo SEUs. Por un lado, las técnicas *software* presentan un método de inyección de fallos mediante la ejecución de instrucciones añadidas al programa. Aunque, el tiempo necesario para inyectar el fallo es relativamente corto, estos métodos son muy intrusivos ya que requieren la modificación del código original. En [15] Velazco et al. describen una técnica *software* basada en rutinas de interrupción de servicio denominada CEU (*Code Emulated Upset*) para inyección de fallos. La implementación del método se realiza sobre una arquitectura *hardware*, denominada THESIC (*Testbed for Harsh Environment Studies on Integrated Circuits*), es una plataforma genérica que se encarga de generar las interrupciones que activan la inyección, las localizaciones del fallo, y de leer los resultados. Este enfoque necesita *hardware* adicional para activar los procedimientos de interrupción, automatizar la carga de memoria con los datos correspondientes al código CEU deseada, comparar los resultados con los resultados esperados y controlar el tiempo de ejecución.

Por otro lado, las técnicas basadas en las infraestructuras de depuración integradas en el procesador no requieren la modificación del código de aplicación. Desde un punto de vista general, OCD puede ser definida como la combinación integrada de *hardware* y *software*, que permite acceder a los recursos internos durante la ejecución del sistema para la inyección de fallos [16], [17]. La implementación de las infraestructuras de depuración varía de acuerdo a las diferentes familias de procesadores, por lo tanto también sus características y capacidades. El acceso a los recursos internos (registros, memoria, etc.) se realiza generalmente a través de la interfaz estándar JTAG (*Joint Test Action Group*).

La arquitectura genérica de un procesador provisto de una infraestructura OCD se compone principalmente de un dispositivo bajo prueba (*Device Under Test* o *DUT*) y un controlador externo, que puede ser un ordenador central (*host*) o un componente *hardware* asociado para realizar campañas de inyección de fallos.

La comunicación entre el controlador externo y el DUT también se realiza a través de la interfaz JTAG.

Basado en este concepto, el trabajo presentado en [16] propone una metodología escalable. Los autores modifican interfaces *hardware* y circuitos OCD dedicados a ayudar a la ejecución de las campañas de inyección de fallos en tiempo real. El objetivo principal de este enfoque es permitir la inyección de fallos en elementos de memoria del microprocesador.

Un enfoque similar se presenta en [18], donde un módulo *hardware* específico se ejecuta como interfaz entre el DUT y el *host*. La técnica se basa en el estándar de depuración Nexus. Este estándar proporciona una interfaz de propósito general para la depuración en procesadores empotrados y el desarrollo de herramientas de depuración. En este caso, los fallos se inyectan sin alterar su ejecución. La aplicabilidad de esta propuesta está condicionada a la compatibilidad del microprocesador con el estándar Nexus. Además, se presentó en [19] una técnica de instrumentación de circuito para medir la sensibilidad SEU en los procesadores complejos. Este método emplea un módulo *hardware* a medida, y una unidad de control conectada al OCD a través de la interfaz JTAG. La unidad de control lleva a cabo la inyección de fallos, y controla las funcionalidades del OCD. Esta técnica no requiere la modificación del sistema destino; no es intrusiva, pero requiere el diseño de una unidad de control específica.

También existen otras propuestas para inyectar fallos a través de GDB [20], [21]. Sin embargo, el proceso para generar secuencias de comandos estáticos y la necesidad de ejecutar el depurador para cada inyección hace que los métodos sean lentos. En [20] se presenta una herramienta de inyección SFIG (*Software-based Fault Injection using gdb*), donde GDB inyecta el fallo cuando el contador de programa llega a la dirección de la instrucción dada. Si esa dirección está dentro de un bucle, GDB es el encargado de controlar el número de iteraciones, haciendo el proceso más ineficiente. En [21] la herramienta de inyección FAUST (*FAUlt-injection*

Script-based Tool) utiliza temporizadores de *software* para seleccionar el tiempo de inyección, haciendo que el proceso sea más impreciso. Estos enfoques están concebidos para ser aplicados a los procesadores que se ejecutan sobre el sistema operativo Unix.

Nuestro enfoque es compatible para los procesadores que se ejecutan con o sin sistema operativo. Además, incluye algunas mejoras para acelerar la inyección de fallos y el proceso de selección exacto del ciclo de inyección. Esto permite un análisis a posteriori del fallo, si es necesario. Además, el concepto de tiempo crítico se incluye para apoyar un control de grano fino del tiempo de ejecución. Este concepto es importante cuando algún tipo de técnica de tolerancia a fallos basada en *software* está incluido en el código.

3. Sistema de inyección propuesto

El sistema de inyección de fallos propuesto realiza la inyección de SEUs y observación de sus efectos, mediante pruebas experimentales llevadas a cabo directamente en el DUT. Nuestra propuesta utiliza la infraestructura estándar de depuración GDB para las pruebas experimentales de inyección de fallos, que inciden en el contenido de la memoria RAM y los registros (incluyendo registros de propósito general y registros especiales). Además, utiliza un módulo *hardware*, temporizador, que es común en los procesadores COTS actuales.

Con el fin de demostrar la viabilidad de este método se ha desarrollado la herramienta de inyección de fallos, que se puede aplicar a procesadores reales, y también es capaz de trabajar en diferentes ambientes tales como simuladores, emuladores y máquinas virtuales.

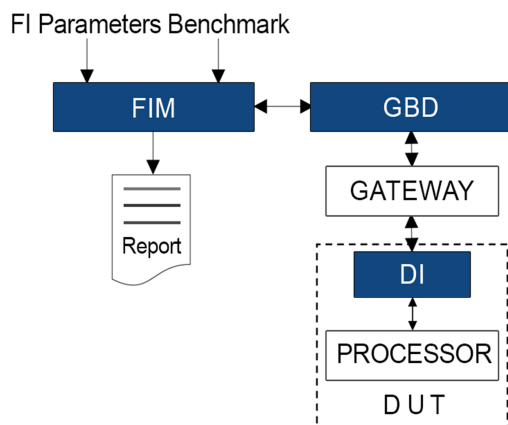


Figura 1. Sistema de inyección de fallos propuesto.

Nuestra herramienta cuenta con cuatro componentes principales (figura 1): el gestor de inyección de fallos (*Fault Injection Manager* o FIM), el depurador de GNU (GDB), la puerta de enlace (Gateway) y la interfaz de depuración (*Debugging Interface* o DI). FIM está a cargo de la gestión y generación de campañas de inyección de fallos y analizar y clasificar los resultados. Además, FIM genera los *scripts* de inyección de fallos correspondientes para GDB con los parámetros de la campaña proporcionados por el usuario. GDB es el depurador utilizado para realizar la inyección de fallos en el DUT. La puerta de enlace es específica para cada DUT y permite la comunicación entre GDB y el DUT. En el caso de procesadores COTS, la puerta de enlace es puesta en marcha por el *host* para establecer la comunicación; de lo contrario, la puerta de enlace está integrada en el emulador / simulador. La DI implementa los comandos de GDB, tales como la descarga de código, la ejecución paso a paso a través del código, o la inserción de puntos de ruptura. Esto varía según el DUT, en el caso de procesadores COTS la DI se lleva a cabo mediante el OCD, mientras que para los emuladores / simulador se utiliza una versión de software conocido como *GDB stub*. La campaña de inyección de fallos es administrado por el *host* en donde la FIM se está ejecutando, por lo que en ambos casos la velocidad del proceso de inyección está limitado por la comunicación necesaria entre el *host* y el DUT.

3.1 Fases de inyección de fallos

La campaña de inyección está compuesta por dos fases principales: la fase de inicialización y la fase de inyección en tiempo de ejecución.

La fase de inicialización incluye todas las tareas realizadas por el FIM para preparar una campaña de inyección de fallos para una aplicación específica (*Benchmark*).

En primer lugar el FIM ejecuta el programa sin realizar inyección de fallos para obtener una ejecución de referencia almacenando el resultado correcto de la aplicación objetivo (ejecución de oro o *golden*); también, recopila información valiosa de la ejecución, como la dirección inicial y final de memoria del programa y el número total de pasos de ejecución. Una vez recopilada esta información, el FIM genera automáticamente los *scripts* de inyección con la información de configuración acerca de cuándo y dónde

se debe inyectar un fallo, el número total de fallos por campaña y las condiciones de finalización como lo es el tiempo de espera (*timeout*) utilizado para controlar la terminación anormal del programa.

En segundo lugar, en los casos en donde el DUT es un procesador COTS, el código original tiene que ser ligeramente instrumentado para acelerar el proceso de inyección. De hecho, la forma habitual para llegar hasta el punto de ejecución, donde se va a inyectar un fallo es mediante la ejecución lenta del comando *stepi* en GDB.

Para evitar este cuello de botella, proponemos el uso de un temporizador *hardware* (*timer*) para interrumpir la ejecución del sistema en el ciclo seleccionado y permitir que GDB realice la inyección del fallo de forma rápida. El temporizador se ejecuta paralelamente al procesador y su rutina de interrupción de servicio (*Interrupt Service Routine* o *ISR*) lo que genera gastos generales (*overhead*) insignificantes de código y tiempo de ejecución (alrededor de 40 ciclos de reloj).

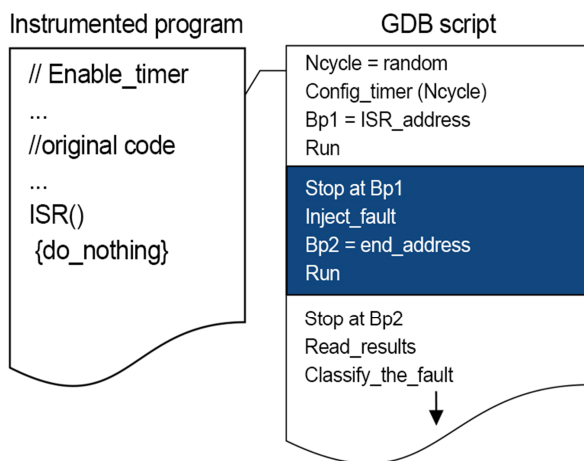


Figura 2. Metodología de inyección de fallos en procesadores COTS.

La figura 2 muestra el procedimiento. Como se puede observar, se realiza una instrumentación del código fuente añadiendo líneas de códigos necesarias para configurar y habilitar el temporizador. El temporizador y la ISR solo se utilizarán para interrumpir la ejecución del sistema en un determinado número de ciclos de reloj, en donde GDB inserta un punto de ruptura que se utiliza para iniciar la rutina de inyección de GDB.

La fase de inyección en tiempo de ejecución realiza la inyección de fallos y la clasificación de cada fallo. El

FIM inicia una sesión de depuración y, al azar selecciona un ciclo de reloj y un bit dentro de los recursos internos del procesador. Luego, continúa la ejecución del programa hasta que se interrumpe por la ISR mediante un contador de ciclos en el caso de los procesadores COTS, o al adelantar el número de pasos de ejecución establecidos en el caso del simulador / emulador. Después de la inyección de un fallo, la ejecución se reanuda hasta el final del programa.

3.2 Método de Inyección de fallos y Clasificación

El método de inyección de fallo se basa en la inyección de un SEU (*bit-flip*) en cada ejecución del programa, que se realiza al azar en tiempo y ubicación, afectando los datos almacenados en los recursos internos del procesador (tal como la memoria o banco de registros). El procedimiento para realizar un *bit-flip* es el siguiente: En primer lugar, se lee la ubicación y el contenido del elemento de memoria en el que se inyecta el fallo. En segundo lugar, se realiza la operación XOR al valor en la ubicación establecida con una máscara de señalización, que selecciona de forma aleatoria el bit interno del procesador que se va a cambiar durante un ciclo de reloj. Por último, se escribe de nuevo el valor después de que se da el cambio a la ubicación original.

Los efectos de los fallos se clasifican de acuerdo a las siguientes categorías [22]:

- *unnecessary for Architecturally Correct Execution* (unACE): en caso de que el programa completa su ejecución y obtiene los resultados esperados.
- *Silent Data Corruption* (SDC): cuando el fallo no se ha detectado o corregido y hace que el programa complete su ejecución normalmente pero no obtiene los resultados esperados.
- *Hang* o *Bloqueado*: cuando el fallo causa una terminación anormal del programa o un bucle infinito.

4. Resultados Experimentales

Para evaluar la metodología de inyección de fallos, se exploraron dos casos de estudios basados en diferentes DUT. Para el primero, el DUT es un procesador *Texas Instruments MSP430*, mientras que el segundo es un procesador *ARMV4T* simulado mediante QEMU.

Las principales características del procesador MSP430 son: 16-bit RISC (*Reduced Instruction Set*

Computer) CPU, 16 KB de memoria flash, y 512 bytes de memoria RAM. El procesador tiene un banco de registros con 16 registros (R0-R15). Los primeros cuatro registros están destinadas para fines especiales. R0 se reserva para el contador de programa (*Program Counter* o PC), R1 es el puntero de pila (*Stack Pointer* o SP), y R2 es el registro de estado (*Status Register* o SR).

Este registro contiene el estado de la CPU MSP430, que se define por un conjunto de bits. El Registro de Estado almacena el contenido de los indicadores aritméticos (*Carry*, *Overflow*, *Negative*, y *Zero*), así como algunos bits de control tales como SCG1 (*System Clock Generator 1*), SCG0 (*System Clock Generator 0*), OSCOFF (*Oscillator Off*), CPUOFF (*CPU Off*) que se utiliza para controlar el modo de funcionamiento de la CPU. El bit general de habilitación de interrupción (*General Interrupt Enable* o GIE) se utiliza para habilitar o deshabilitar las interrupciones enmascarables.

El registro R3 se utiliza para la generación constante. Los registros restantes desde R4 a R15 son registros de propósito general.

QEMU es un emulador y virtualizador genérico, es decir, que es capaz de simular un sistema completo. Además, tiene la ventaja de ser capaz de funcionar tanto como un emulador puro o como una máquina virtual nativa (en x86 / arquitectura x86-64). Es posible también, utilizarlo para ejecutar y depurar una aplicación de sistema operativo menos independiente.

La arquitectura ARMV4T proporciona 16 registros de propósito general en el modo de usuario, todos los cuales son de 32 bits de ancho. R15 es el contador de programa (*Program Counter* o PC), pero puede ser manipulado como un registro de propósito general. R14 se utiliza como un registro de enlace (*Link Register* o LR) por la instrucción de bifurcación y enlace. R13 se suele utilizar como puntero de pila (*Stack Pointer* o SP).

El registro de estado actual del programa (*Current Program Status Register* o CPSR) contiene cuatro indicadores de condición de 1 bit (*Negative*, *Zero*, *Carry*, y *Overflow*) y cuatro campos que reflejan el estado de ejecución del procesador. El resto de los registros de la CPU, desde R0 a R12, son registros de propósito general.

El conjunto de programas de pruebas (*test benchmark*) utilizado en los experimentos se compone de los siguientes programas: Reducción de vector (VR), el algoritmo de ordenamiento Quicksort (QuickSort y

QuickSort_crc), y la multiplicación de matrices (MxM y MxM_crc). En los dos últimos *benchmarks*, se ha añadido la comprobación de redundancia cíclica (*Cyclic Redundancy Check* o CRC) para reducir la amplitud de los datos (*datawidth*) de los resultados y para facilitar la comprobación de la exactitud. CRC es una técnica para la detección de errores en los datos digitales, que se utiliza comúnmente en las redes de telecomunicaciones y dispositivos de almacenamiento digital. Además, esta técnica utiliza división polinómica para determinar un valor llamado CRC, que es generalmente la anchura de 16 o 32 bits. Como técnica de reducción, dos valores CRC no coincidirán si se cambia cualquier bit de un conjunto de bits determinado. Utilizamos CRC para evaluar la coherencia de los resultados, en comparación con los programas de pruebas con o sin algoritmo CRC.

4.1 Configuración de campañas de Inyección de fallos

Para evaluar el rendimiento del método de inyección en diferentes partes del DUT (tales como los registros del procesador y la memoria RAM), se midió el tiempo necesario para inyectar un solo fallo durante 1000 pruebas. Los resultados promedios obtenidos fueron 1,10 segundos y 0,12 segundos para MSP430 y QEMU-ARMV4T, respectivamente. El primer resultado revela una gran dependencia de las latencias de comunicación entre el *host* y el DUT en el caso de MSP430.

4.2 Campañas de inyección de fallos en registros de la CPU

Para verificar la coherencia de los resultados, se realizaron dos campañas de inyección de fallos para MSP430 y ARMV4T inyectando 1,000 SEUs en cada registro del banco de registros. Es decir, un total de 16000 SEUs por campaña en MSP430 y 17000 SEUs en ARMV4T. Dos *benchmarks* fueron probados en cada campaña: QuickSort y MxM. La figura 3 y la figura 4 muestran los resultados.

Como era de esperarse, los fallos solo afectan a los registros que están implicados en las instrucciones reales del programa. Por ejemplo, los fallos inyectados sobre los registros que no son utilizados durante la ejecución del programa (por ejemplo, R4 y R5 en QuickSort en MSP430), se clasifican como unACE (figura 3). En ambos *benchmarks* ejecutados sobre MSP430, los registros críticos, tales como R0 (contador de programa) y R1 (puntero de pila) presentan las tasas

más altas de error. Esto es particularmente cierto en el caso de QuickSort para el registro R1/SP, ya que este algoritmo se basa principalmente en la recursión; por lo tanto, utiliza la pila ampliamente, por lo que el registro R1/SP, es el más crítico.

Vale la pena señalar que los porcentajes de fallos clasificados como unACE de los registros desde R6 a R12 son bastante altos debido a que el tiempo de vida de estos registros es relativamente corto, es decir, que no eran ampliamente propensos a fallos durante la ejecución del programa. Por el contrario, otros registros altamente utilizados (tales como R14 y R15 en QuickSort; y de R13 a R15 en el caso de MxM) se utilizan ampliamente para realizar muchos cálculos durante todo el proceso y, en consecuencia, presentan mayor porcentaje de efectos indeseables. En particular, en el caso de MxM, los registros desde R13 a R15 se utilizan para calcular y almacenar los resultados intermedios dentro del programa, por lo tanto, causan e incrementan la tasa de fallos SDC.

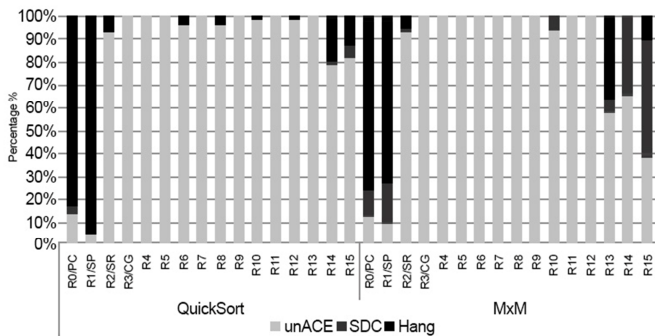


Figura 3. Porcentajes de clasificación de fallos contra el banco de registros del procesador TI-MSP430.

En cuanto a QuickSort en la arquitectura ARMV4T (figura 4), el registro R14/LR presenta un notable incremento en su tasa de fallos de tipo *Hang* en comparación con MxM. Esto es debido al incremento en su vida útil, ya que se utiliza para guardar la dirección de retorno de las subrutinas. QuickSort tiene dos rutinas grandes y recursivas, que aumentan la probabilidad de error.

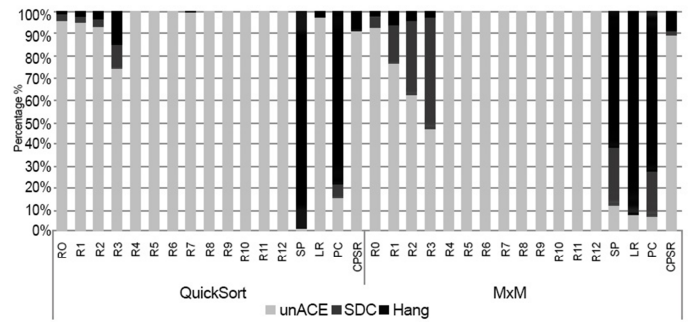


Figura 4. Porcentajes de clasificación de fallos contra el banco de registros del procesador ARMV4T (emulado con Qemu).

En resumen, los resultados globales de inyección en ambas arquitecturas RISC son bastante similares como se esperaba.

La segunda prueba demuestra la fiabilidad global de la aplicación, cuando los fallos se inyectan en todo el banco de registros. Este conjunto de *benchmarks* han sido probados en ambas arquitecturas inyectando 1,000 SEUs por registro.

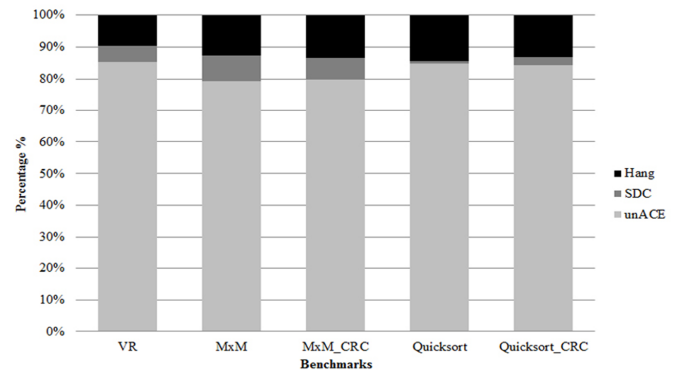


Figura 5. Porcentajes generales de clasificación de fallos para cada *benchmark* ejecutado en el procesador TI-MSP430.

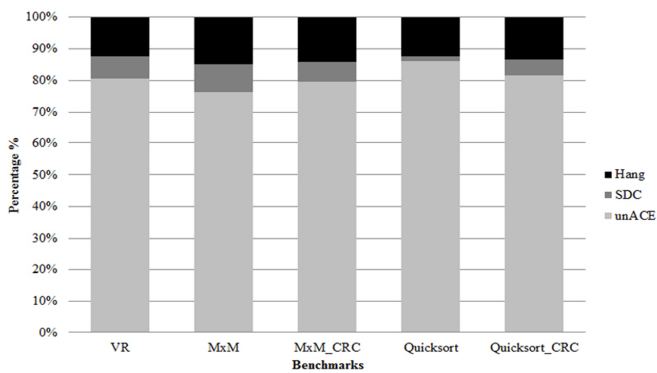


Figura 6. Porcentajes generales de clasificación de fallos para cada *benchmark* ejecutado en el procesador ARMV4T.

En promedio, MSP430 ofrece mejor fiabilidad que ARM, ya que sus porcentajes de fallos unACE son más altos en todos los *benchmarks*. Teniendo en cuenta la distinta naturaleza de los *benchmarks*, varias características pueden ser señaladas a continuación. Estos algoritmos se centraron en el procesamiento de datos, es decir, VR, MxM y MxM_crc son más propensos a ser afectados por fallos que causan SDC.

Por otra parte, los *benchmarks* de QuickSort y QuickSort_crc, que son más orientados a control de flujo, por lo que presentan una vulnerabilidad de menor importancia a fallos en las variables locales. Esta peculiaridad es causada debido al uso intensivo de la pila para guardar las variables automáticas durante el flujo de recursividad (proceso de pila). Respecto a la influencia del cálculo CRC en MxM y QuickSort, los resultados son bastante diferentes. En el caso de la multiplicación de matrices, CRC aumenta ligeramente la fiabilidad del sistema (porcentajes unACE). Por el contrario, para QuickSort, el número de efectos indeseables (SDC + Hang) aumenta cuando se calcula CRC. Este efecto se ve claramente en ARMV4T en el que el porcentaje de SDC para la versión CRC es más del doble del porcentaje de QuickSort.

4.3 Campañas de inyección de fallos en la memoria RAM

Como última prueba, hemos realizado campañas de inyección sobre los recursos de la memoria RAM. Se realizaron dos campañas de inyección de fallos para MSP430G2553 y MSP430F5529 inyectando 16,000 SEUs en cada sección de la memoria RAM, que resume un total de 48,000 SEUs por campaña. Dos *benchmarks* fueron utilizados en cada campaña: QuickSort y MxM.

Los resultados obtenidos en ambos procesadores demuestran que los efectos de los fallos varían de acuerdo a la sección de memoria RAM que se considere para la inyección. La figura 7, muestra los porcentajes de clasificación de los fallos. En el caso de la sección de datos, que tiene un tamaño fijo establecido y contiene todas las variables, que pueden ser utilizados durante el tiempo de ejecución del programa. Por lo tanto, esta sección es más propensa a ser afectada por fallos que causan SDC. Mientras tanto, la sección de pila, además de contener los parámetros de función, almacena sus direcciones de retorno aumentando así el número de *Hangs*. El número de datos / direcciones en la pila varía durante la ejecución del programa y, en general, es menor que las variables críticas en la sección de datos, en nuestro caso se aumenta el porcentaje de fallos unACE.

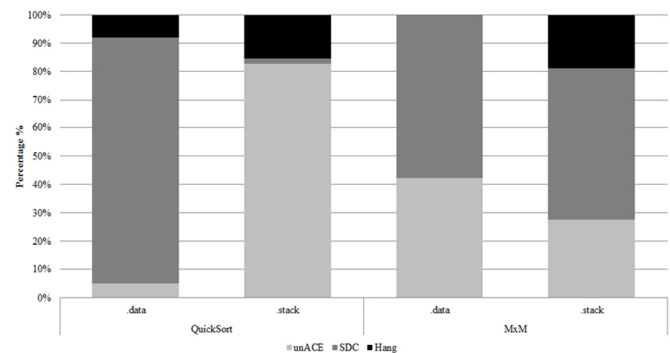


Figura 7. Porcentajes de clasificación de fallos contra las secciones de memoria RAM en el procesador TI-MSP430.

La figura 8 resume la información mediante la recopilación de los fallos obtenidos de todas las campañas de inyección, tanto en el banco de registros como en la memoria RAM. La tasa de error del banco de registros es menor como su porcentaje de fallos unACE es mayor que el unACE de la memoria RAM. Los resultados indican que la memoria RAM es más propensa a ser afectado por fallas que causan SDC.

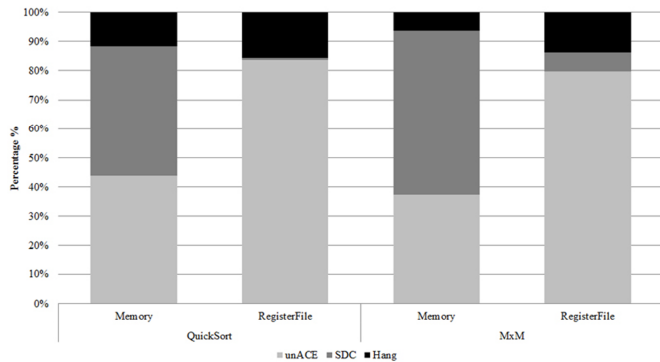


Figura 8. Porcentajes generales de clasificación de fallos contra la memoria RAM y el banco de registros en el procesador TI-MSP430.

En promedio, los resultados globales de los fallos (figura 9), teniendo en cuenta tanto los fallos inyectados en el banco de registros y la memoria RAM, muestran que el 58 % de los fallos inyectados se clasifican como unACE para MxM, y el 63% para quickSort. El porcentaje de efectos indeseables (SDC + Hang) son del 37 % para quickSort y el 42 % para MxM.

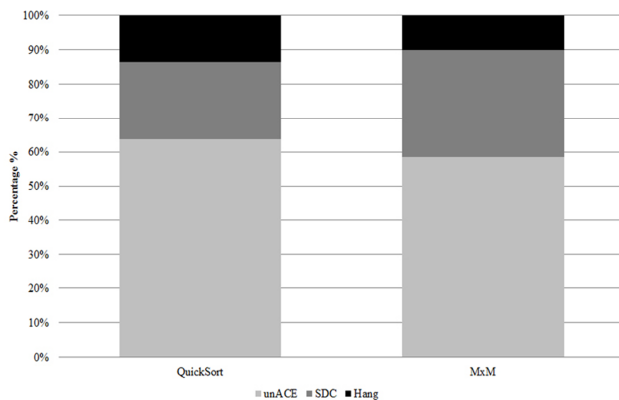


Figura 9. Porcentajes generales de clasificación de fallos contra la memoria RAM y el banco de registros para cada benchmark ejecutado en el procesador TI-MSP430.

5. Conclusiones

El sistema propuesto es una herramienta destinada a la evaluación de la fiabilidad de los microprocesadores COTS. La aplicación automática y el mínimo impacto sobre el funcionamiento del microprocesador son algunas de las principales características de nuestra propuesta. Además, esta herramienta no requiere ningún hardware adicional de propósito específico, y tiene bajos costes de desarrollo e implementación. Las pruebas realizadas muestran la flexibilidad de la

herramienta para adaptarse a diferentes plataformas, así como la coherencia de los resultados de la inyección de fallos que afectan a los registros de la CPU y a las secciones de la memoria RAM. Además, el uso de la herramienta con las plataformas de emulación / simulación con soporte para GDB, como también QEMU, permite la aceleración de la campaña de inyección de fallos, ofreciendo estimaciones con respecto a la fiabilidad del sistema.

6. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Ministerio español de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional con el proyecto "Evaluación Temprana de los Efectos de radiación Mediante simulación y virtualización. Estrategias de mitigación en arquitecturas de microprocesadores Avanzados" (Ref: ESP2015-68245-C4-3-P MINECO / FEDER, UE), y la Universidad Nacional de Colombia con el proyecto "Desarrollo de *software* Una métrica de Vulnerabilidad de registros en Microprocesadores COTS" (Cod HERMES: 28433).

7. Referencias

- [1] M. Nicolaidis, Ed., *Soft Errors in Modern Electronic Systems*, vol. 41. Boston, MA: Springer US, 2011.
- [2] R. C. Baumann, "Radiation-induced soft errors in advanced semiconductor technologies," *IEEE Trans. Device Mater. Reliab.*, vol. 5, no. 3, pp. 305–315, Sep. 2005.
- [3] P. Shivakumar, M. D. Kistler, S. W. Keckler, D. C. Burger, and L. Alvisi, "Modeling the effect of technology trends on the soft error rate of combinational logic," *Dependable Syst. Networks, 2002. DSN 2002. Proceedings. Int. Conf.*, pp. 389–398, 2002.
- [4] T. Karnik, P. Hazucha, and J. Patel, "Characterization of soft errors caused by single event upsets in CMOS processes," *IEEE Trans. Dependable Secur. Comput.*, vol. 1, no. 2, pp. 128–143, 2004.
- [5] F. Wang and V. D. Agrawal, "Single Event Upset: An Embedded Tutorial," in *21st International Conference on VLSI Design (VLSID 2008)*, 2008, pp. 429–434.
- [6] H. Quinn, P. Graham, J. Krone, M. Caffrey, and S. Rezgui, "Radiation-induced multi-bit upsets in SRAM-based FPGAs," *Nucl. Sci. IEEE Trans.*, vol. 52, no. 6, pp. 2455–2461, 2005.
- [7] H. M. Quinn, D. a. Black, W. H. Robinson, and S. P. Buchner, "Fault Simulation and Emulation Tools to Augment Radiation-Hardness Assurance Testing," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 60, no. 3, pp. 2119–2142, 2013.
- [8] P. Folkesson, S. Svensson, and J. Karlsson, "A comparison of simulation based and scan chain implemented fault injection," in *Digest of Papers. Twenty-Eighth Annual International*

- Symposium on Fault-Tolerant Computing (Cat. No.98CB36224)*, 1998, pp. 284–293.
- [9] D. Alexandrescu, L. Sterpone, and C. López-Ongil, “Fault injection and fault tolerance methodologies for assessing device robustness and mitigating against ionizing radiation,” *19th IEEE Eur. Test Symp.*, 2014.
- [10] R. V. T. Calin, M. Nicolaidis, “Upset hardened memory design for submicron CMOS technology,” *IEEE Transactions-on-Nuclear-Science*, vol. 43, no. 6, pp. 2874–2878, 1996.
- [11] L. Antoni, R. Leveugle, and M. Feher, “Using run-time reconfiguration for fault injection in hardware prototypes,” in *17th IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems, 2002. DFT 2002. Proceedings.*, 2002, pp. 245–253.
- [12] M. Portela-Garcia, C. Lopez-Ongil, M. Garcia Valderas, and L. Entrena, “Fault Injection in Modern Microprocessors Using On-Chip Debugging Infrastructures,” *IEEE Trans. Dependable Secur. Comput.*, vol. 8, no. 2, pp. 308–314, Mar. 2011.
- [13] L. Parra *et al.*, “Efficient Mitigation of Data and Control Flow Errors in Microprocessors,” *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 61, no. 4, pp. 1590–1596, 2014.
- [14] J. Isaza-Gonzalez, A. Serrano-Cases, F. Restrepo-Calle, S. Cuenca-Asensi, and A. Martinez-Alvarez, “Dependability evaluation of COTS microprocessors via on-chip debugging facilities,” in *2016 17th Latin-American Test Symposium (LATS)*, 2016, pp. 27–32.
- [15] R. Velazco, S. Rezgui, and R. Ecoffet, “Predicting error rate for microprocessor-based digital architectures through C.E.U. (Code Emulating Upsets) injection,” *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 47, no. 6, pp. 2405–2411, 2000.
- [16] A. V. Fidalgo, M. G. Gericota, G. R. Alves, and J. M. Ferreira, “Real-time fault injection using enhanced on-chip debug infrastructures,” *Microprocess. Microsyst.*, vol. 35, no. 4, pp. 441–452, 2011.
- [17] S. A. Chekmarev and A. M. F. Reshetnev, “Modification of Fault Injection Method via On-Chip Debugging for Processor Cores of Systems-On-Chip,” pp. 1–4, 2015.
- [18] Junjie Peng, Jun Ma, Bingrong Hong, and Chengjun Yuan, “Validation of Fault Tolerance Mechanisms of an Onboard System,” in *2006 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics*, pp. 1230–1234.
- [19] M. Portela-Garcia, C. Lopez-Ongil, M. Garcia-Valderas, and L. Entrena, “A Rapid Fault Injection Approach for Measuring SEU Sensitivity in Complex Processors,” in *13th IEEE International On-Line Testing Symposium (IOLTS 2007)*, 2007, pp. 101–106.
- [20] Rajesh Venkatasubramanian, J. P. Hayes, and B. T. Murray, “Low-cost on-line fault detection using control flow assertions,” in *9th IEEE On-Line Testing Symposium, 2003. IOLTS 2003.*, pp. 137–143.
- [21] A. Benso, S. Di Carlo, G. Di Natale, P. Prinetto, I. Solcia, and L. Tagliaferri, “FAUST: fault-injection script-based tool,” in *9th IEEE On-Line Testing Symposium, 2003. IOLTS 2003.*, p. 160.
- [22] A. Martínez-Álvarez, F. Restrepo-Calle, L. A. Vivas Tejuelo, and S. Cuenca-Asensi, “Fault tolerant embedded systems design by multi-objective optimization,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 17, pp. 6813–6822, 2013.

Sistema multiagente para la predicción de clima para usos agrícolas

Multi-agent system for weather forecasting for agricultural purposes

Ricardo Fuentes Covarrubias^{1*}, Andrés Gerardo Fuentes Covarrubias²,
Adalberto Iriarte Solís³, María Palmira González Villegas⁴, Liliana Zamora Cárdena⁵, Albert Alejandro González Ochoa⁶
^{1, 2, 5, 6} Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México
^{3, 4} Universidad Autónoma de Nayarit.
¹fuentesr@ucol.mx, ²fuentesg@ucol.mx, ⁵zamora_liliana@ucol.mx, ⁶agonzalez57@ucol.mx, ³Adalberto.iriarte@uan.edu.mx
⁴Palmira.gonzalez@uan.edu

Resumen— La predicción exacta del tiempo es importante para el éxito del sector agrícola. Se presenta un modelo informático en el que el usuario puede obtener pronósticos basados en datos reales introduciendo simplemente el día y el mes a través de una interfaz gráfica. Los resultados son claros y fáciles de visualizar.

Palabras claves— Multiagente, pronóstico del clima, sistema experto.

Abstract— Accurate weather forecasting is important for the success of the agricultural sector. A computer model is presented in which the user can obtain forecasts based on actual data simply by entering the day and month through a graphic interface. The results are clear and easy to visualize.

Keywords— Multi agent, weather forecast, expert system.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 1 de agosto de 2016

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

En nuestros días los avances tecnológicos e investigaciones han hecho que, en este caso en particular sepamos más acerca del clima, tanto que ahora podemos pronosticar que sucederá en un día determinado, mediante registros de años pasados y saber el comportamiento del clima en fechas específicas.

A pesar de esto, existe un problema, no puede haber un experto humano en cada parte del mundo, por lo cual este sistema es creado para remediar este hecho; ya que evaluaciones realizadas a nuestro sistema han demostrado que cubre las necesidades suficientes para lo que fue creado, facilitando así, el acceso a tal información sin requerir de un climatólogo.

Hoy en día el saber qué clima habrá en el futuro es muy importante para desarrollar nuestras actividades habituales, ya que nos permitirá dependiendo del clima, qué cosas podemos hacer y saber cómo reaccionar a tal situación.

La agricultura es el recurso más importante con el que cuenta el hombre, es una de las actividades humanas que más dependen del clima, los agricultores tienen que tomar un número de decisiones cruciales en el manejo del agua y tierra durante cada estación, las cuales están basadas en las condiciones climáticas y, algunas veces, estas decisiones deben ser tomadas varias semanas por adelantado. Desde esta perspectiva, hay opiniones bien informadas, por ejemplo, Alexander Mueller, Director General Adjunto para Recursos Naturales de la FAO advierte, “El coste económico asociado a los desastres naturales, incluyendo los fenómenos climáticos extremos, se ha multiplicado por 14 en la agricultura desde la década de 1950” [1].

Por lo tanto, trabajar en la información y predicción meteorológica y climática es de vital importancia para los más de 2,500 millones de personas que basan su medio de vida en la agricultura y sus actividades asociadas.

El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema multiagente enfocado al pronóstico del clima para apoyar al sector agrícola utilizando técnicas de inteligencia artificial que ayuden en la toma de decisiones preventivas con el propósito de responder a los cambios climáticos de la actualidad.

2. Estado del arte

Recopilar observaciones del tiempo, explicar el comportamiento de la atmósfera y pronosticar el viento y la lluvia son prácticas muy antiguas. Así, hasta el siglo XX, las personas interesadas de forma científica en el tiempo atmosférico realizaban tres actividades: una actividad empírica consistente en recopilar datos de observaciones y a partir de ellos intentar inferir algo, una actividad teórica dedicada a explicar los fenómenos atmosféricos basándose en leyes generales, y una actividad práctica de predicción del tiempo. Naturalmente, estas actividades siempre han estado relacionadas entre sí y el término meteorología se ha utilizado para las tres prácticas mencionadas [2].

Desde la predicción meteorológica hasta la investigación sobre la contaminación del aire, pasando por el cambio climático, los estudios del agotamiento de la capa de ozono y la predicción de las tormentas tropicales, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) coordina la actividad científica mundial para que la información meteorológica, y otros servicios lleguen con rapidez y precisión cada vez mayores al público, al usuario privado y comercial, a la navegación aérea y marítima internacional. Dichas actividades de la OMM contribuyen a la seguridad de vidas y bienes, al desarrollo socioeconómico de las naciones y a la protección del medio ambiente [3].

Para emitir predicciones climáticas es necesario obtener datos de todo el mundo. Si no hubiera OMM, las naciones del mundo tendrían que concertar acuerdos entre sí para asegurar el intercambio y disponibilidad de datos con objeto de atender a sus necesidades nacionales, por ejemplo, las predicciones y servicios especiales destinados a distintos sectores económicos como la agricultura siguen una norma internacional para todos los países afiliados a la ONU, en este caso, el Programa de Meteorología Agrícola, es un esfuerzo de la OMM para estandarizar buenas prácticas de producción agrícolas con desarrollo sustentable [4].

La información que los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) recopilan, administran y analizan, bajo los auspicios de la OMM y en colaboración con otras organizaciones y programas regionales e internacionales, ayuda a todas las comunidades a hacer frente a las condiciones climáticas presentes y futuras.

La predicción e identificación de tendencias sobre el cambio climático son problemas que han sido atendidas por los profesionales del ramo; por otro lado, las tecnologías de la información juegan un papel importante para la automatización del proceso de recuperación y análisis de datos para propósitos de modelaje.

Otros sistemas similares se centran en el monitoreo de índices agroclimáticos con el fin de registrar y predecir los índices de humedad en cierta época del año como lo describe Bautista en [5]. En estos casos de estudio, las series de tiempo y el comportamiento de los índices climáticos son de gran importancia, ya que, si bien el clima en apariencia tiene un comportamiento aleatorio, las series de tiempo con bases de datos de hasta 50 o 100 años dicen lo contrario, su análisis por medio de herramientas *software* permite el modelado de tendencias, así lo describen Cohen y Ojeda en [6].

Por lo anterior, no es de extrañar el uso de las técnicas de inteligencia artificial, tal como los sistemas expertos, en áreas como la agrometeorología, en cuyo caso el uso de índices climáticos en bases de datos para posterior análisis y modelado, son la base de los procesos de predicción y creación de series de tiempo, lo describe Amador en [7].

Otro enfoque de la predicción está basado en los análogos climáticos [8], esta técnica permite comparar entre proyecciones de climas futuros en lugares específicos y condiciones similares ya existentes con otros lugares en el mismo o en otro continente. El Centro Internacional de Agricultura Tropical ha desarrollado una herramienta *software* llamada "Herramienta de climas análogos" con el fin de efectuar predicciones con base a esta técnica.

3. Importancia del pronóstico en el sector agrícola

Los productos de pronóstico de largo rango proveen información útil a los gobiernos y otros usuarios en la planificación de sus actividades agrícolas en una

estación dada. La información oportuna sobre la pluviosidad esperada para la próxima estación ayuda a los agricultores de cultivos a decidir el tipo de semilla que plantar, en cuáles áreas y en qué tiempo de la estación [9].

Un pronóstico efectivo para granjeros apoyará la toma de decisiones que en última instancia mejorará el rendimiento a largo plazo de la empresa agrícola.

La agricultura y sus industrias asociadas son las fuentes primarias de comida y el mayor sector de empleo en la mayoría de los países en desarrollo [10].

La producción agrícola es muy dependiente del tiempo, clima y la disponibilidad del agua, y es afectada negativamente por desastres relacionados con el tiempo y el clima. Por ejemplo, en muchos países en desarrollo donde la norma es la agricultura de temporal regada por lluvia, una buena estación lluviosa conlleva a una buena producción de los cultivos, una mejor seguridad alimenticia y una economía saludable [11]. Una falla en la presencia de lluvias y/o la ocurrencia de desastres naturales tales como inundaciones y sequías pueden llevar a un fracaso en las cosechas, inseguridad alimenticia, y un crecimiento económico nacional negativa [12].

La predicción de clima brinda alta prioridad para generar conocimientos más precisos acerca de los impactos del cambio climático, identificando a su vez las opciones de adaptación que se pueden poner al alcance de la población rural de escasos recursos. El CIAT es el centro líder del Programa de Investigación de CGIAR sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS, por sus siglas en inglés) [13].

4. Predicción del clima

El clima es el conjunto de los valores promedio de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Estos valores promedio se obtienen con recopilación de la información meteorológica durante un período suficientemente largo. Según se refiera al mundo, a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zonal, regional o local (microclima), respectivamente [14].

El clima es un sistema complejo por lo que su comportamiento es muy difícil de predecir. Por una parte, hay tendencias a largo plazo debidas, normalmente; a variaciones sistemáticas como el

aumento de la radiación solar o las variaciones orbitales, pero, por otra existen fluctuaciones caóticas debidas a la interacción entre forzamientos, retroalimentaciones y moderadores.

El clima global requiere por lo tanto el estudio de otro tipo de variables llamados forzamientos externos. Para conocer cómo evoluciona el clima, hay que tener en cuenta la influencia de esos aspectos capaces de alterarlo drásticamente.

La disponibilidad de datos completos sobre el estado del clima, permitirá el proceso e interpretación de los datos para poder así generar predicciones relevantes y garantizar la información de manera oportuna [15].

4.1 Parámetros climáticos

Para el estudio del clima local es necesario analizar los siguientes parámetros climáticos: la temperatura, la humedad, la presión, los vientos y las precipitaciones. De ellos, las temperaturas medias mensuales y los montos pluviométricos mensuales son los datos más importantes que normalmente aparecen en los gráficos climáticos.

Hay una serie de factores que pueden influir sobre estos elementos, como lo son:

- **Latitud geográfica:** La latitud determina el grado de inclinación de los rayos del Sol y la diferencia de la duración del día y la noche. Cuanto más directamente incide la radiación solar, más calor aporta a la Tierra.
- **Altitud:** La altitud de una región determina la delimitación de los pisos térmicos respectivos. A mayor altitud con respecto al nivel del mar, menor temperatura.
- **Orientación del relieve:** el relieve es un modificador del clima se debe tener presente no solo la altura sino también su orientación con respecto a los rayos solares y a la dirección de los vientos. Las laderas de las montañas que reciben mayor insolación se llaman solana y las que reciben menos el sol se llaman de umbría.
- **Vientos predominantes:** los vientos dominantes (los vientos planetarios) también determinan la existencia de dos tipos de vertientes: de barlovento y de sotavento. Lluvia mucho más en las vertientes de barlovento porque el relieve da origen a las lluvias orográficas, al forzar al ascenso de las masas de aire húmedo.

- **Corrientes oceánicas:** Las corrientes marinas o, con mayor propiedad, las corrientes oceánicas, se encargan de trasladar una enorme cantidad de energía en el sentido de los meridianos y explican en algunos casos, las anomalías climáticas más importantes del hemisferio Norte. Las corrientes frías también ejercen una poderosa influencia sobre el clima
- **Continentalidad:** La proximidad del mar modera las temperaturas extremas y suele proporcionar más humedad en los casos en que los vientos procedan del mar hacia el continente. Las brisas marinas atenúan el calor durante el día y las terrestres limitan la irradiación nocturna

4.2 Clasificación climática clásica

Describe los climas del mundo en función de su régimen de temperaturas y de precipitaciones:

- **Clima árido:** precipitaciones escasas. Se produce gracias a las cadenas montañosas y a las corrientes marinas, estas últimas condensan la humedad y evitan la precipitación.
- **Clima intertropical:** las temperaturas fluctúan poco durante el año.
- **Clima mediterráneo:** caracterizado por veranos cálidos y secos, e inviernos húmedos y templados.
- **Clima alpino:** frío a causa de la altitud.
- **Clima continental:** característico de las regiones interiores. La variación de temperaturas entre estaciones puede ser muy grande.
- **Clima oceánico:** característico de las regiones de temperaturas templadas cercanas al mar. Precipitaciones a lo largo de todo el año y temperaturas que no varían mucho a lo largo del año.
- **Clima polar:** temperaturas generalmente bajo 0°C, escasas precipitaciones.

5. Sistemas expertos

Son llamados así por que emulan el comportamiento de un experto en un conocimiento en concreto y en ocasiones son usados por ellos. Con los sistemas expertos se busca una mejor calidad y rapidez en las respuestas dando así lugar a una mejora de la productividad del experto.

Un sistema experto es una rama de la Inteligencia Artificial y es aquel que imita las actividades de un humano para resolver problemas de distinta índole.

También se dice que un sistema experto se basa en el conocimiento declarativo (hechos sobre objetos, situaciones) y el conocimiento de control (información sobre el seguimiento de una acción).

A continuación, la figura 1 representa de manera gráfica el funcionamiento de nuestro sistema las principales ideas de cómo se interactúa un usuario con nuestro sistema experto.



Figura 1. Interacción del usuario con el sistema experto.

Para que un sistema experto sea una herramienta efectiva, los usuarios deben de interactuar de una forma fácil, reuniendo dos capacidades para poder cumplirlo [16].

Base del conocimiento: se deben realizar siguiendo ciertas reglas o pasos comprensibles de manera que se pueda generar la explicación para cada una de estas reglas, que a la vez se basan en hechos.

Adquisición de nuevos conocimientos: son mecanismos de razonamiento que sirven para modificar los conocimientos anteriores.

Con base en lo anterior se puede decir que los sistemas expertos son el producto de investigaciones en el campo de la inteligencia artificial ya que esta no intenta sustituir a los expertos humanos, sino que persigue ayudarlos a realizar con más rapidez y eficacia todas sus tareas con menor dificultad. Es por eso que en la actualidad juega un papel preponderante los sistemas expertos.

Un sistema experto está conformado por:

- **Base del conocimiento (BC):** Contiene conocimiento modelado extraído del diálogo con el experto.
- **Base de hechos:** contiene los hechos sobre un problema que se ha descubierto durante el análisis.
- **Motor de inferencia:** Modela el proceso de razonamiento humano.

- Módulos de justificación: Explica el razonamiento utilizado por el sistema para llegar a una conclusión.
- Interfaz de usuario: es la interacción entre el SE y el usuario, y se realiza mediante el lenguaje natural.

Principalmente existen tres tipos de sistemas expertos:

- Basados en reglas: Aplicando reglas heurísticas apoyadas generalmente en lógica difusa para su evaluación y aplicación.
- Basados en casos o CBR (*Case Based Reasoning*): Aplicando el razonamiento basado en casos, donde la solución a un problema similar planteado con anterioridad se adapta al nuevo problema.
- Basados en redes bayesianas: Aplicando redes bayesianas, basadas en estadística y el teorema de Bayes.

6. Agentes inteligentes

Un agente es todo aquello que puede considerarse que percibe su ambiente mediante sensores y que responde y actúa en tal ambiente por medio de efectores [17].

Los elementos que conforman un agente inteligente son: su arquitectura, la cual delimita su actuación y un programa de computadora el cual le dará al agente la capacidad de interactuar con el medio ambiente para llevar a cabo las acciones que determinarán su desempeño.

En lo que respecta al *software* utilizado por el agente, invariablemente deberá tener integrada una base de conocimiento que contenga la secuencia de actividades para llevar a cabo las distintas acciones motivadas por cada una de las percepciones recibidas del medio ambiente; esto indica claramente la necesidad de dotar al agente de un nivel de autonomía derivada del uso de sus percepciones para “monitorear” constantemente al medio ambiente y comparar las condiciones imperantes con las condiciones almacenadas en su base de conocimiento y hacer los ajustes correspondientes, es decir se puede hablar de adquirir experiencias en la misma forma en la que lo hace un ser humano.

7. Desarrollos y resultados

El sistema para que pueda funcionar de una manera confiable, debe tener una base de conocimiento muy amplia y datos que sean útiles de los meses y años anteriores.

La base de conocimiento y la base de datos está avalada por datos certificados del Sistema Nacional de Meteorología (<http://smn.cna.gob.mx>) [14] y datos que nos proporcionó el Centro Universitario de Ciencias del Ambiente (CUICA) de la Universidad de Colima, México para extender y detallar la información.

Mediante toda esta información recabada podemos hacer un pronóstico más acertado, gracias a que tenemos diferentes fuentes de información con el cual podemos hacer comparaciones de las diferentes tablas de datos sobre el clima.

En la tabla 1, se muestran los diferentes datos que nos proporcionó nuestro experto humano. Es sobre la temperatura máxima de las principales ciudades del país (Período 1980-2004). Solo se capturaron los datos que son importantes para la base de datos, en este caso el estado de Colima, México.

Tabla 1. La temperatura máxima (Período 1980-2004)

	Período 1980-2004												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Aguascalientes	21.5	23.2	26.5	20.4	30	29.2	26.9	26.3	25.9	25.6	24.3	22.4	25.9
Baja California	19.7	21	22.1	24.6	27	31.1	33.9	33.9	31.9	28.1	23.3	20.2	25.4
Baja California Sur	23.8	25	26.5	28.6	20.8	32.4	34.6	34.8	34	31.6	27.8	24.7	29.5
Campeche	29.8	30.9	33.3	25.1	35.9	34.3	33.6	33.6	33	31.9	30.9	29.9	32.8
Coahuila	19.5	21.8	26	29.5	32.4	34.2	34.1	33.7	31.6	26.3	24.1	19.9	27.9
Colima	31.3	31.9	32.4	33.3	33.9	33.5	32.9	32.6	32.1	32.4	32.3	31.4	32.5
Chiapas	27.9	28.9	31.3	32.4	32.9	31.1	30.5	38.6	30.1	29.3	28.6	27.9	30.1
Chihuahua	17.3	10.5	22.8	26.4	30.1	33.2	31.7	30.4	20.6	25.9	21.4	10.1	25.4
Distrito Federal	20.3	21.5	24	24.8	24.8	23.1	21.7	21.8	21.3	21.4	20.8	20.1	22.1
Durango	21.1	22	26.4	20.2	30.6	31.4	20.2	20.6	27.6	26.6	24.2	21.6	26.4
Guanajuato	22.4	24	26.7	28.9	30	28.1	25.1	25.1	25.4	24.9	24.2	22.8	25.8
Guerrero	30.6	31.5	32.8	33.9	34	32	30.8	30.7	30.2	30.7	30.9	30.6	31.6
Hidalgo	21.3	22.9	26.1	27.7	29.1	26.3	25.1	25.3	24.5	23.6	22.8	21.7	24.6
Jalisco	26.1	27.5	29.7	31.7	32.8	31.3	28.8	28.6	28.5	28.6	27.6	26.3	29
Estado de México	20.9	22	24.1	25.5	25.5	22.5	22.1	22.3	21.9	22.1	21.9	21.1	22.7
Michoacán	27.7	26.9	30.9	32.6	33	30.8	28.6	28.7	28.4	28.6	28.7	27.9	29.6
Morelos	26.6	20.1	30.4	31.9	31.7	20.2	27.3	27.4	26.9	27.1	27.2	26.7	20.4
Nayarit	28.2	29.4	31	32.8	34	33.8	32.2	31.9	31.7	31.8	30.9	28.5	31.4
Nuevo León	20.4	22.7	26.6	20.5	31.9	33	33.5	33.3	30.9	27.9	24.3	21.1	27.9
Oaxaca	27.2	28	30	31.3	31.4	29.5	28.7	28.7	28.2	28.1	27.7	27.2	28.8
Puebla	23.5	24.9	27.3	28.8	29.1	27.3	26	26.3	25.6	25.5	24.7	23.7	26.1
Querétaro	23	24.6	27.7	29.8	30.3	33.1	26.8	26.8	27	26.1	24.4	23.4	25.4
Quintana Roo	29.2	29.8	31.5	32.7	33.7	33.1	33.1	33.1	32.6	31.7	30.5	29.3	31.7
San Luis Potosí	22.1	24.2	27.5	29.9	31.1	30.3	29.9	29.1	27.9	26.5	24.9	22.9	27.1
Sinaloa	27.2	28.8	30.2	32.4	34.3	35.4	34.7	34	33.8	33.4	30.7	28.1	31.9
Sonora	21.7	23.6	25.4	29.1	32.9	36.9	36.6	35.9	34.9	31.2	25.9	21.9	29.7
Tabasco	27.8	28.9	32.1	34.1	35.5	34	33.5	33.6	32.8	31.1	29.7	28.1	31.8
Tamaulipas	21.9	24.5	20.4	31.4	32.9	34	34.2	34.4	32.4	20.6	26.3	23.2	20.4
Tlaxcala	20.6	31.9	24	24.9	24.8	23.2	22.1	22.2	21.8	22.1	21.8	21.1	22.5
Veracruz	24.5	25.7	20	31.3	32.9	31.9	30.7	30.8	30.2	20.7	26.9	25.1	29
Yucatán	27.7	30.6	32.9	34.7	35.5	34.4	33.9	34	33.3	32.1	31	30	32.7
Zacatecas	21	23	25.7	26.2	30.3	29.9	27.7	27.3	26.4	25.7	24.1	21.7	25.9
Nacional	23.1	24.7	27.3	29.8	31.8	32.4	31.7	31.3	30.2	28.5	25.9	23.6	28.3

En la tabla 2, se muestran los diferentes datos que obtuvimos de nuestro experto humano. Esta gráfica es sobre la temperatura media de las principales ciudades del país (período 1980-2004); solo se capturaron los datos que son importantes para la base de datos, en este caso el estado de Colima.

Asimismo, en la tabla 3, se muestran los diferentes datos que obtuvimos de nuestro experto humano. En ella se muestra la temperatura mínima de las principales

ciudades del país (período 1980-2004); Solo se capturaron los datos que son importantes para la base de datos, en este caso el estado de Colima, México.

Tabla 2. La temperatura media (Período 1980-2004)

Temperatura media promedio estatal												
Período 1980-2004												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Aguascalientes	12.4	13.6	16.3	19.6	20.7	21.2	19.9	19.6	19.9	17.5	15.1	13.3
Baja California	12.3	13.5	14.5	16.5	18.8	22.4	25.7	26	23.9	19.9	15.5	12.8
Baja California Sur	16.2	17	19.2	20.1	21.4	24.1	27	27.5	26.8	23.8	20	17.1
Campeche	22.7	23.5	25.5	27.4	29.4	27.7	27.1	27.1	29.8	25.8	24.2	23.2
Coahuila	11.6	13.5	17.1	20.7	24.1	26.2	20.5	26.3	24.2	20.5	15.8	12.2
Colima	23	23.2	23.6	24.7	26.2	27.2	26.9	28.7	26.4	26.2	25.2	23.9
Chiapas	21.6	22.3	24.2	25.5	26.3	25.5	25	25	24.8	24.1	23	21.9
Chihuahua	9.4	10.1	13	16.7	20.4	24.1	24.1	23.1	21.1	17	12.1	9
Distrito Federal	12.4	13.5	15.8	17	17.5	16.9	15.9	16	15.8	15.1	13.7	17.7
Durango	12	13.2	15.4	19.3	20.9	22.9	22	21.5	20.6	19.2	14.9	12.6
Guanajuato	13.9	15.1	17.5	19.8	21.3	20.8	19.6	19.5	18.9	17.5	15.9	14.5
Guerrero	23.1	23.8	25	26.3	27	26.1	25.2	25.1	24.8	24.8	24.2	23.4
Hidalgo	13.6	14.7	17.6	19.5	20.5	19.8	19	19.1	19.5	17.1	15.5	14.4
Jalisco	17.1	18	19.8	21.9	23.6	23.9	22.7	22.6	22.3	21.4	19.4	17.8
Estado de México	12.4	13.3	15.1	16.9	17.5	16.9	16.1	16.1	15.8	15.1	13.8	12.9
Michoacán	19.4	20.2	21.8	23.6	24.8	24.3	23	22.9	22.6	22.3	21.1	19.9
Morelos	19.2	19.4	21.4	23.3	23.8	22.7	21.3	21.3	21	20.4	19.5	19.5
Nayarit	20.4	20.8	22	23.8	25.5	27.1	20.4	20.3	20.2	25.5	23.4	21.1
Nuevo León	13	15	19.5	21.6	24.4	25	26.3	26.1	24.2	21	17.1	13.9
Oaxaca	20.2	20.8	22.5	24	24.5	23.7	23.1	23	22.8	22.3	21.4	20.5
Puebla	15.4	16.5	19.8	20.5	21.4	20.6	19.6	19.6	19.4	19.5	17.1	15.9
Querétaro	14.7	15.9	18.5	20.9	22.1	21.2	20.3	20.3	19.5	18.3	16.7	15.4
Quintana Roo	23.2	23.5	25	26.4	27.5	27.6	27.4	27.4	27.1	26.2	24.6	23.6
San Luis Potosí	14.4	15.8	19.6	21.1	22.9	23	22.1	22.1	21.3	19.4	17.1	15.2
Sinaloa	16.9	19.8	20.9	22.9	25.2	28.1	28.5	29	27.8	26.1	22.5	19.9
Sonora	13.3	14.7	16.3	19.4	23	17.5	29.2	29.7	27.1	22.5	17	13.5
Tabasco	23	23.5	26.1	27.9	29.2	28.4	28	28	27.7	26.5	25	23.3
Tamaulipas	15.4	17.5	21.2	24.4	26.6	27.8	27.9	29	26.4	29.5	20	19.9
Tlaxcala	11.3	12.4	14.3	15.5	15.2	15.9	15	15	14.8	14.1	12.9	11.9
Veracruz	19.4	20.2	23	25.3	26.3	26.9	26.5	25.7	25.7	25.3	23	20.2
Yucatán	22.9	23.4	25.4	27.1	28.2	28	27.5	27.5	27.2	26.1	24.6	23.5
Zacatecas	12	13.5	15.9	19.4	20.9	21.5	20.3	20	19.2	17.4	14.9	12.9
Nacional	15.2	16.5	16.7	21.3	23.5	24.9	24.8	24.6	23.6	21.3	19.5	15.9

Tabla 3. La temperatura mínima (Período 1980-2004)

Temperatura mínima promedio estatal												
Período 1980-2004												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Aguascalientes	3.2	4.1	6.2	8.8	11.3	13	12.6	12	12	9.3	5.3	4.1
Baja California	5	5.9	6.9	9.4	10.6	13	17.5	19.1	15	11.7	7.6	6.3
Baja California Sur	8.5	9	9.9	11.5	13.1	15.8	19.4	20.3	19.6	16.2	12.1	9.6
Campeche	16.9	16.2	17	19.6	20	21.1	20.6	20.6	20.7	19.7	17.9	16.6
Coahuila	3.7	5.1	9.3	12	15.7	19.2	19	19.9	16.9	12.6	7.6	4.5
Colima	14.8	14.6	14.8	16.2	18.2	21.1	21.1	20.8	20.7	20.1	18.1	16.3
Chiapas	16.3	15.9	17.1	19.8	19	19.9	19.4	19.4	19.6	19.9	17.4	16
Chihuahua	-0.6	0.7	3.4	7	10.7	15	16.5	15.7	13.6	8.3	2.8	-0.1
Distrito Federal	4.5	5.4	7.7	9.3	10.3	10.7	10.1	10	10.2	9.9	6.5	6.4
Durango	2.8	3.5	5.5	8.3	11.3	14.3	14.8	14.5	13.6	9.9	5.6	3.5
Guanajuato	5.3	6.2	9.2	10.7	12.7	13.5	13.1	12	12.4	10.2	7.7	6.2
Guerrero	15.7	16.1	17.2	18.7	20	20.2	19.6	19.5	14.4	18.9	17.5	16.3
Hidalgo	5.9	8.6	9	11.3	12	13.3	12.9	12	12.5	10.7	8.3	7
Jalisco	8.2	8.5	9.9	12.1	14.5	16.6	16.5	16.3	16.1	14.2	10.9	9.2
Estado de México	3.9	4.6	9.1	9	9.5	10.3	10	9.9	9.9	8.1	5.9	4.9
Michoacán	11.9	11.4	12.8	14.7	16.7	17.8	17.2	17	16.9	15.7	13.6	11.9
Morelos	9.9	10.6	12.4	14.7	15.9	16.2	15.3	15.1	15.2	13.6	11.7	10.3
Nayarit	12.6	12.3	12.1	14.9	17.2	20.4	20.8	20.9	20.7	19.2	15	19.7
Nuevo León	5.7	7.3	10.4	13.7	17	18.7	19	18.9	17.5	14.1	9.9	6.8
Oaxaca	12.2	12.8	15	16.7	17.9	17.9	17.5	17.4	17.4	16.4	15	13.9
Puebla	7.3	8.2	10.2	12.1	13.6	13.9	13.2	13	13.1	11.6	9.5	8.1
Querétaro	6.5	7.1	9.5	12.1	12	12.9	12	12.6	13	11.2	9.9	7.5
Quintana Roo	17.1	17.2	28.6	20.1	21.4	22.1	21.8	21.8	21.7	20.8	19.2	17.8
San Luis Potosí	6.6	7.5	9.8	12.4	14.9	15.6	15.9	15.2	14.6	12.3	9.4	7.6
Sinaloa	10.5	10.8	11.7	13.4	16.2	20.8	22.2	22	21.8	18.8	14.2	11.7
Sonora	4.9	5.9	7.2	9.7	13.1	19.1	21.7	21.5	19.4	13.7	0.2	6.1
Tabasco	18.1	18.2	20.1	21.7	22.8	22.8	22.4	22.5	22.6	21.8	20.2	18.5
Tamaulipas	9.9	10.6	14	17.3	20.2	21.6	21.7	21.6	20.5	17.3	13.6	10.6
Tlaxcala	1.9	2.9	4.6	6.2	7.5	8.5	7.9	7.7	7.9	6.1	3.9	2.8
Veracruz	14.3	14.9	17	19.2	21	21.2	20.7	20.6	20.4	19.9	19.9	15.3
Yucatán	18	16.2	18	19.5	20.9	21.5	21.1	21	21.1	23	19.2	16.9
Zacatecas	3.1	4	6.1	9.9	11.4	13.2	13	12.7	11.9	9.2	5.7	4.1
Nacional	7.5	9.3	10.2	12.7	15.2	17.4	18.2	17.9	17	14.2	10.4	8.2

7.1 Metodología de desarrollo

Para este propósito se utilizó la metodología en cascada para el ciclo de vida. Esta es una metodología de programación que se utiliza mucho en el diseño de sistemas expertos. Contempla varias etapas las cuales van desde la especificación de requerimientos hasta el aseguramiento de la calidad, es de hacer notar que el desarrollo del *software* es acorde con la norma Moprosoft, la cual se ha implementado en México como un esfuerzo del gobierno federal para la generación de *software* de calidad. La figura 2 describe la categoría de proceso Operación, dentro de esta categoría el proceso Desarrollo y Mantenimiento de *Software*, establece y realiza las actividades correspondientes al ciclo de vida del *software* para dar cumplimiento a los objetivos de los proyectos y requerimientos especificados [18].

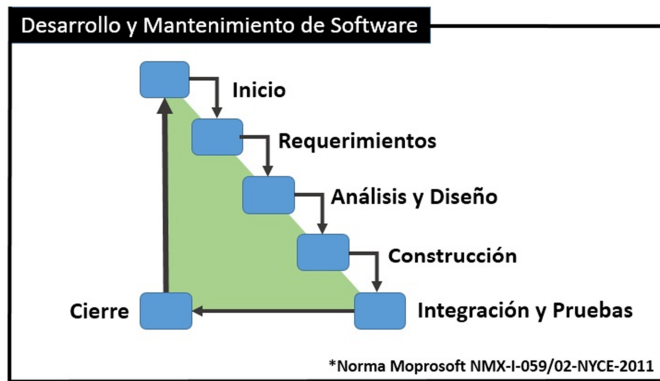


Figura 2. Etapas del modelo de desarrollo según Moprosoft.

Es de hacer notar que a diferencia de un sistema *software* tradicional, en la etapa de análisis y diseño se debe tomar en cuenta el aspecto del análisis del conocimiento y dentro de ella la parte de extracción de conocimiento el cual se obtiene de entrevistas con especialistas en el área hacia la cual está enfocado en sistema y las rejillas de repertorio para la adquisición automática de conocimiento y posteriormente dicho conocimiento será clasificado e integrado a la base de conocimientos del sistema [19].

Para la etapa de codificación se utilizó el lenguaje Visual Prolog 7.2, el cual es el lenguaje más recomendable para la elaboración de Sistemas Expertos, ya que maneja programación lógica y la estructura del *software* está basada en reglas.

En la figura 3 se muestra el diagrama de casos de uso que es la manera gráfica de representar el funcionamiento del sistema, y como interactúa con los usuarios.

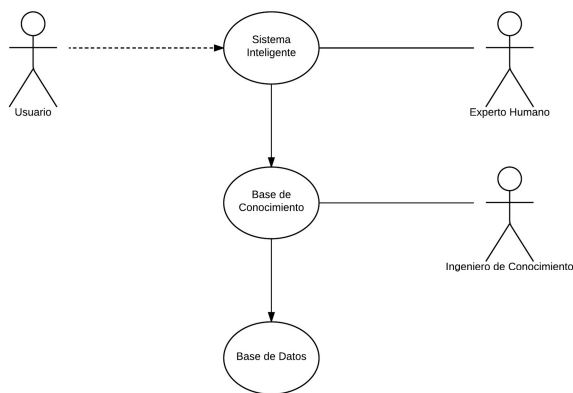


Figura 3. Diagrama de casos de uso del sistema experto.

Después de una extensa investigación y algunas entrevistas con un experto humano especialista en la predicción del clima en Colima se generó una primera versión, el cual es un sistema experto que se presentará a continuación y que en una segunda etapa se migrará a un sistema multiagente utilizando la estación meteorológica del Centro Universitario de Investigaciones en Ciencias del Ambiente de la Universidad de Colima, México.

7.2 La base de conocimientos

La base de conocimientos funciona como un objeto pasivo que almacena reglas a partir de las cuales se determina las causas de un mal funcionamiento del clima si este tiene como resultado algo que no coincide con la base de datos en la cual se encuentran los registros del monitoreo de los últimos 30 años para el caso de estudio del estado de Colima, México.

La representación de la base de conocimientos se da mediante el motor de inferencia que interactúa a partir de reglas causa-efecto con la base de datos y la base de conocimientos.

El proceso de razonamiento se da a partir de un encadenamiento hacia adelante, en el cual las premisas de las reglas que están en la base de conocimientos y se comparan con la memoria de trabajo. En ese sentido existe una serie de hechos (condiciones) para la que se deben de encontrar sus conclusiones (pronósticos) que se derivan de ellas como se muestra en la figura 4.

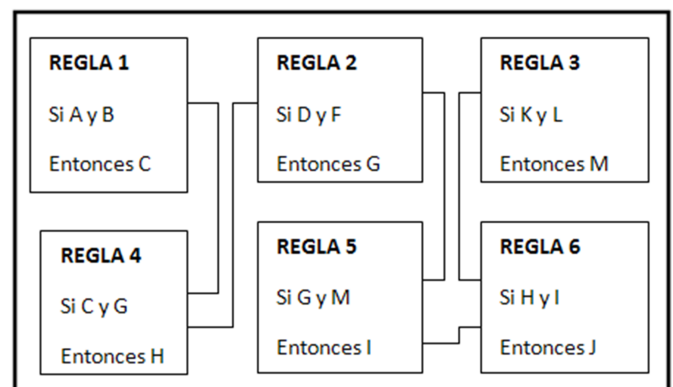


Figura 4. Estructura de la base de conocimiento.

En sistemas cuyo propósito es el diagnóstico, es justificable utilizar un encadenamiento hacia adelante, el cual se puede visualizar como un árbol de decisión con un recorrido en anchura de abajo hacia arriba, también

se le denomina de razonamiento de abajo hacia arriba, porque se razona a partir de los hechos de un nivel más abajo a las conclusiones, las cuales se encuentran en el nivel más alto del árbol.

7.3 Reglas de producción

Como forma fundamental de representación del conocimiento se utilizaron reglas de producción que representan la heurística del sistema, como ejemplo muestra a continuación el pseudocódigo de dos módulos:

Módulo situación de error obtener_pronostico

Temperatura actual

Valor.legal [>"45" La temperatura es alta, humedad relativa superior a lo normal, con cielo soleado]: Diagnostico

"No coincide con el rango de temperatura perteneciente a los datos"

Módulo obtener_pronostico

Temperatura actual

Valor.legal [<"45" La temperatura es alta, humedad relativa normal, con cielo soleado]: Diagnostico
"Coincide con el rango de temperatura perteneciente a los datos"

If obtener_pronostico es >"23" or >"45"

Then

Hipótesis=Calculo de Pronostico,"El Pronostico del Clima es: 38.1°C, con el día despejado"

Para probar que una sola regla es una conclusión verdadera de varias reglas se utiliza el método de resolución con refutación.

Lo anterior permite generar un conjunto de reglas a partir de indicadores conocidos como puede ser la temperatura actual, que aunque puede asumir cualquier valor, al compararlos con la tabla de datos, algunos de los valores indicados por el usuario se podrían asumir como no válidos como por ejemplo que el valor sea "nevando" pues aunque en la región del volcán de Colima hay nevadas varios días el año, en la ciudad de Colima nunca ha nevado.

7.4 Interface gráfica de usuario

Para empezar, se visualiza el inicio del programa. En la figura 5 que se muestra a continuación se ve la pantalla de inicio al ejecutar el programa. El menú tiene la pestaña clima la cual contiene tres opciones:

- Datos: Datos meteorológicos del estado de Colima, México en los últimos 30 años.

- Salir: Salir del programa.
- Pronóstico: comenzar el programa principal.

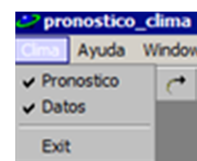


Figura 5. Pantalla de Inicio.

La siguiente pantalla es el Sistema Experto y tiene tres secciones para interactuar (véase en la figura 6):

El usuario selecciona el mes que desea usar para el pronóstico o bien si así lo desea también puede ver el pronóstico anual para el estado de Colima, posteriormente selecciona el tipo de pronóstico ya sea temperatura máxima o mínima. Finalmente, oprime la opción Incluir Día de Hoy e ingresa la temperatura en el cuadro de texto.

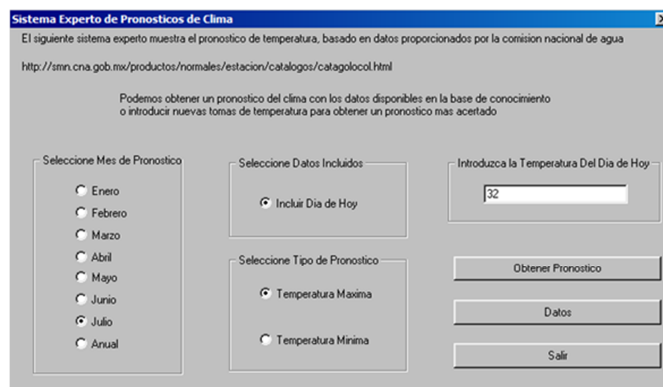


Figura 6. Sistema experto.

Al presionar el botón Obtener Pronóstico el motor de inferencia realiza las búsquedas y los cálculos necesarios y en un cuadro de diálogo devuelve el pronóstico, como se ve en la figura 7.

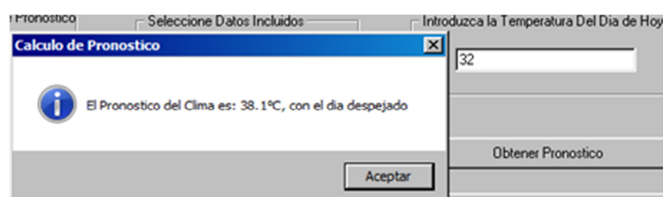


Figura 7. Resultado del pronóstico para temperatura máxima.

Para hacer otro pronóstico, simplemente, se elige aceptar y nos regresa a la pantalla del sistema pronosticador.

El programa está protegido para que no acepte temperaturas que no sean posibles en el estado de Colima. Al ingresar una temperatura incorrecta, el programa en un cuadro de diálogo devuelve el mensaje de error y sugiere consultar la hoja de datos meteorológicos del estado de Colima, México como se muestra en la figura 8 en donde se incluyó una temperatura de -3 grados Celsius la cual es improbable.

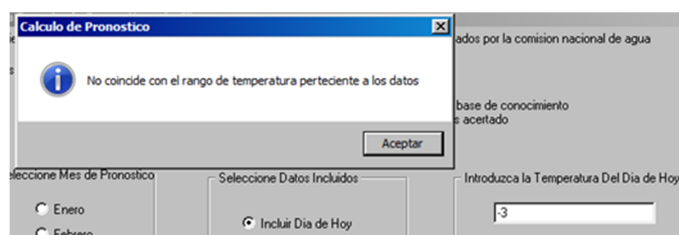


Figura 8. Rango no aceptado de temperaturas.

Para consultar la hoja de datos meteorológicos de Colima se pulsa el botón ver datos o la opción menú clima -> datos. La figura 9 a continuación muestra la consulta de los datos.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
NORMALES CLIMATOLÓGICAS													
ESTADO DE: COLIMA												PERIODO: 1951-2010	
ESTACION: 00006040 COLIMA (DGE)				LATITUD: 19°13'00" N.			LONGITUD: 103°42'47" W.			ALTURA: 500.0 MSNM.			
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	31.3	31.9	32.9	34.0	34.4	33.6	32.4	32.4	31.5	32.1	32.4	31.6	32.5
MAXIMA MENSUAL	35.6	36.0	36.4	37.8	39.4	37.7	36.2	36.7	35.5	35.5	34.9	36.7	
AÑO DE MAXIMA	1954	1997	1995	1995	1997	1998	1994	1997	1994	1995	1997	1954	
MAXIMA DIARIA	38.2	39.2	39.8	42.5	42.0	41.0	40.4	39.0	39.5	41.0	38.9	40.5	
FECHA MAXIMA DIARIA	20/1959	22/2009	04/1954	17/1997	15/1998	19/1994	03/2006	08/1997	02/1990	02/1970	29/1954	02/1954	
AÑOS CON DATOS	55	55	52	52	56	54	55	56	56	56	53	54	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	23.4	23.6	24.3	25.5	26.8	27.5	26.8	26.6	26.2	26.1	25.2	23.9	25.5
AÑOS CON DATOS	55	55	52	52	56	54	55	56	56	56	53	54	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	15.5	15.4	15.7	17.1	19.3	21.4	21.1	20.9	20.9	20.1	18.1	16.2	18.5
MINIMA MENSUAL	12.9	12.5	12.5	13.9	15.1	18.7	17.9	18.2	19.2	18.2	16.1	13.7	
AÑO DE MINIMA	1998	1992	1986	1957	1993	1988	1956	1956	1985	1984	1992	1970	
MINIMA DIARIA	7.5	8.0	3.0	7.0	10.0	14.0	0.7	15.0	13.0	13.0	11.5	9.0	
FECHA MINIMA DIARIA	12/1997	06/1992	28/1988	27/1988	03/1981	13/1957	16/2005	03/1956	28/1994	26/1986	25/1970	31/1975	
AÑOS CON DATOS	55	55	52	52	56	54	55	56	56	56	53	54	
PRECIPITACION													
NORMAL	24.2	6.2	4.3	2.1	10.9	128.3	205.6	191.9	191.0	92.0	17.6	11.3	885.4
MAXIMA MENSUAL	438.4	197.5	169.2	92.0	196.6	274.5	553.1	352.8	376.7	439.6	181.1	81.1	
AÑO DE MAXIMA	1992	2010	1968	1959	1956	2003	1970	1962	1998	1959	1976	1963	
MAXIMA DIARIA	136.4	84.8	110.4	51.7	130.1	128.5	139.0	115.0	239.0	255.0	93.7	60.9	
FECHA MAXIMA DIARIA	12/1967	02/2010	04/1968	17/1959	27/1956	24/2003	11/1976	24/1995	05/1999	03/1969	24/1972	15/1963	
AÑOS CON DATOS	59	59	56	55	60	59	60	60	60	60	58	58	
EVAPORACION TOTAL													
NORMAL	145.5	159.7	206.0	221.4	228.5	178.9	155.1	148.0	131.9	139.1	137.9	133.8	1,985.8
AÑOS CON DATOS	46	45	44	45	47	45	46	49	49	49	44	45	
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA													
NORMAL	1.4	0.6	0.3	0.2	1.1	11.2	18.1	17.6	16.7	7.1	1.5	1.1	76.9
AÑOS CON DATOS	59	59	56	55	60	59	60	60	60	60	58	58	

Figura 9. Hoja de datos.

Esta hoja de datos fue la base para asignar los datos de pronóstico de clima al *software* desarrollado y en ella se muestra un extracto de los datos de los últimos 30 años en el estado de Colima que es nuestro caso de estudio.

8. Conclusiones y trabajos futuros

Este proyecto ha sido una gran experiencia para la formación de estudiantes de ingeniería. Les ha permitido conocer un aspecto práctico de la inteligencia artificial pues se han vinculado desde la parte inicial relacionada con el conocimiento del estado del arte, las etapas del desarrollo de un sistema inteligente y su uso en un aspecto social que impacta en la economía de una región; los estudiantes vinculados al proyecto han conocido cada una de las etapas del sistema inteligente, como está conformado y que tipo de información debe ser depurada. Se utilizó como plataforma de desarrollo el lenguaje Visual Prolog ver. 7.2 el cual fue muy importante en la etapa de codificación, ya es un lenguaje de programación declarativo, con un enfoque que utiliza la lógica silogística siendo fundamental en el diseño del sistema de pronóstico del clima.

Su ambiente de programación es el más funcional y el que mejor se adapta a las necesidades del proyecto.

Las interfaces del sistema tienen un entorno gráfico fáciles para su lectura y uso, los usuarios del sector agrícola que utilicen el sistema se verán beneficiados ya que el clima no será obstáculo para obtener mayor productividad, y les permitirá planificar y tomar decisiones, respecto a qué cultivos conviene sembrar y en qué período sería más favorable.

En una segunda etapa del proyecto se trabaja en el módulo de sensórica y de circuitería electrónica lo cual está fuera del alcance del presente documento y se pretende presentar en una siguiente entrega, pues se trabaja en la calibración y prueba de instrumental y los resultados aún no son concluyentes, pero se han estado incorporando al módulo de *software* de aplicación descrito en este trabajo como módulos adicionales que conformarán un sistema multiagente es de hacer notar que en fecha reciente se consiguió el aval de la Agencia Espacial Mexicana para concluir el proyecto y trabajar con datos más completos y en tiempo real los cuales se integrarán durante el año 2017.

9. Referencias

- [1] FAO, "Tercera Conferencia Mundial sobre el Clima," [En línea]. Available: <http://www.fao.org/news/story/es/item/29648/icode/>. [Último acceso: 22 Abril 2016].
- [2] M. Lezaun, "Predicciones del tiempo y matemáticas," Sociedad Española de Matemáticas Aplicadas, vol. 1, n° 22, pp. 61-100, 2002.
- [3] OMM, "Agricultural Meteorology Programme (AgMP)," [En línea]. Available: Agricultural Meteorology Programme (AgMP). [Último acceso: 23 Abril 2016].
- [4] ONU, "Organización Meteorológica Mundial," [En línea]. Available: <http://www2.medioambiente.gov.ar/acuerdos/organismos/onu/onuomm.htm>. [Último acceso: 23 Abril 2016].
- [5] Bautista, F.; Bautista-Hernandez, D.A.; Alvarez, O.; Anaya-Romero, M.; De la Rosa, D., "Software para identificar las tendencias de cambio climático a nivel local: un estudio de caso en Yucatán, México," Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, vol. 19, n° 1, pp. 81-90, 2013.
- [6] Cohen, S.I.; Ojeda, B.; Villanueva, D.J.; Díaz, P.G.; Velazquez, V.M.A.; Muñoz, V.J.A., "CLIMA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA: ANÁLISIS DEL PASADO PARA PREVER EL FUTURO," Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, vol. 6, n° 1, pp. 169-176, 2007.
- [7] J. Amador, "Predicción agrometeorológica y agricultura en Boyacá," Cultura Científica, Fundación Universitaria Juan De Castellanos, vol. 5, n° 1, pp. 21-23, 2007.
- [8] A. Mileo, "ANÁLOGOS CLIMÁTICOS: INVESTIGANDO EL CAMBIO CLIMÁTICO," [En línea]. Available: <http://www.sustentator.com/blog-es/2015/07/analogos-climaticos-investigando-el-cambio-climatico/>. [Último acceso: 26 Abril 2016].
- [9] B. Nyenzi, "Desafíos de la predicción climática y su aplicación en el sector agrícola," de Servicios de Información y Predicción del Clima y Aplicaciones Agrometeorológicas para los Países Andinos, Guayaquil, Ecuador, 2004.
- [10] OMM, "Anexo al Plan de ejecución del Marco Mundial para los Servicios Climáticos - Componente del Sistema de información de servicios climáticos," [En línea]. Available: http://www.gfscclimate.org/sites/default/files/Components/Climatic%20Services%20Information%20System/GFCS-ANNEXES-CSIS-VERSION-11-OCT-2013%20-14204_es_0.pdf. [Último acceso: 6 Junio 2016].
- [11] Landa, R.; Magaña, V.; Neri, C., "Variabilidad del clima y uso de la información climática," de Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático, México, D.F., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2008, pp. 15-16.
- [12] Landa, R.; Magaña, V.; Neri, C., "Relaciones clima-agricultura de temporal en Querétaro y Guanajuato," de Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático, México, D.F., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2008, pp. 39-43.
- [13] CIAT, "Investigación sobre el Cambio Climático," Centro Internacional de Agricultura Tropical, [En línea]. Available: <https://ciat.cgiar.org/es/investigacion-sobre-el-cambio-climatico>. [Último acceso: 24 Abril 2016].
- [14] CONAGUA, "Comisión Nacional del Agua de México," [En línea]. Available: <http://smn.cna.gob.mx>. [Último acceso: 24 Abril 2016].
- [15] Castro, L.M.; Carvajal, E.Y., "ANÁLISIS DE TENDENCIA Y HOMOGENEIDAD DE SERIES CLIMATOLÓGICAS," Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, vol. 1, n° 9, pp. 15-25, 2010.
- [16] N. Dieter, Sistemas Expertos, Experiencia de la Práctica, Barcelona, España: Marcombo, 1991.
- [17] Russell, S.; Norvig, P., Inteligencia Artificial, un enfoque moderno, México, D.F.: PRENTICE HALL/PEARSON, 2011.
- [18] NYSE, "Moprosoft," [En línea]. Available: <https://www.nyce.org.mx/moprosoft-nyce/>. [Último acceso: 12 Abril 2016].
- [19] Giarratano, J.; Riley, G., Sistemas Expertos, Principios y Programación, México, D.F.: Thompson, 2004.

Investigación & desarrollo e innovación como factores de desarrollo

Research & development and innovation as factors of development

Guillermo Díaz^{1*}

¹Facultad de ciencias económicas y empresariales, Universidad Rafael Landívar, Guatemala

¹godiaz@url.edu.gt

Resumen— El objetivo de este artículo es medir la incidencia de la investigación y desarrollo e innovación en el desarrollo de los países, a través de la estimación de modelos econométricos de corte transversal, en los que la variable dependiente está representada por índices de desarrollo y las variables explicativas son gastos de investigación y desarrollo e índice de innovación. Los resultados evidencian que la innovación incide sobre el desarrollo de los países. El mayor aporte es sobre el desarrollo económico, seguido por la contribución al desarrollo social.

Palabras claves— desarrollo, desarrollo humano, innovación, progreso social.

Abstract— The purpose of this article is to measure the impact of Research & Development and Innovation, in the developing of countries, through econometric models of cross section, where the dependent variable is represented by the development index and the explanatory variables are Research & Development costs and the rate of Innovation. The results show that Innovation affects the development of countries. The biggest contribution is on economic development, followed by the social development.

Keywords— development, human development, innovation, social progress.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 16 de enero de 2017

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

La innovación está vinculada con el desarrollo desde inicios de la humanidad. Barnes [1] indica que la innovación más importante en los orígenes de la humanidad fue el descubrimiento de un método para producir fuego, lo que le permitió al ser humano fundir los metales y a partir de ahí comenzar el desarrollo de la civilización humana. Siglos más tarde, la Revolución Industrial, con la innovación de la máquina de vapor, fue otro momento relevante en el desarrollo de la humanidad. En sí, fue el momento a partir del cual cientos de millones de personas salieron de la pobreza material, de acuerdo con Deaton [2]. Piketty [3] afirma que a partir de esa época el crecimiento económico fue constante y se produjo más de lo producido por la humanidad hasta 1800.

La innovación es clave en las modernas teorías de crecimiento y desarrollo económico. La innovación es fundamental para la competitividad, según Szirmai, Naudé & Goedhuys [4]. En la teoría económica sobre desarrollo, Schumpeter [5] es el primer autor que

incorpora el tema de la innovación. En su clásica obra titulada “Teoría del desenvolvimiento económico” sostiene que el avance de la sociedad se produce a causa de las innovaciones en el proceso productivo realizadas por el emprendedor. Schumpeter utiliza dicho término para diferenciarlo de lo que denomina gerente de empresa, que solo administra la empresa pero no innova, como lo hace el emprendedor o empresario. El autor concibe la innovación como cambios en el proceso productivo, que se manifiestan a través de nuevos productos o modificación de existentes, nuevos métodos de producción o comercialización y nuevos mercados, entre otros.

Un segundo autor que estudia la relación entre desarrollo, a través del crecimiento económico, es Solow. Sala-i-Martin [6] explica que el modelo de Solow sostiene que el aumento del ingreso por habitante en el largo plazo, medida de desarrollo, depende del progreso tecnológico. Ray [7] sostiene que el progreso tecnológico puede darse a través de innovación de procesos o de transferencia de la empresa innovadora

hacia las demás. La relevancia del progreso tecnológico para el crecimiento y desarrollo económico es que dicho proceso puede generarse de manera deliberada, por medio de investigación y desarrollo. Esta es la base de la innovación.

Existen múltiples estudios sobre el modelo de Solow, que utilizan diversas variables como aproximación del progreso tecnológico. Ray [7] cita la investigación de Mankiw, Romer y Weil que ajustaron el modelo de Solow con base en capital humano, encontrando que el capital humano incide en el crecimiento económico, aumentando el mismo. En América Latina, Contreras y Blanco [8] investigaron el vínculo innovación y crecimiento económico para Venezuela. Su estudio determina una relación positiva y significativa entre ambas variables. El modelo de Solow aplicado al caso de Guatemala por Solórzano e Ibañez [9], indica que el país tiene baja productividad a causa, entre otros factores, de débil inversión en innovaciones tecnológicas.

Nelson y Pack [10] afirman que el alto crecimiento económico de países del sudeste asiático, como Taiwán, es producto de emprendimientos e innovación. Los países con mayor crecimiento económico durante la segunda mitad del siglo XX fueron aquellos que cambiaron sus exportaciones de productos de baja a alta tecnología, es decir, innovaron, según Chandra, Eröcal, Padoan y Primo [11]. Lederman y Sáenz [12] indican que los resultados econométricos de un estudio a nivel mundial también establecen que la innovación tiene un efecto positivo en el desarrollo a largo plazo.

Este artículo tiene como propósito aportar datos sobre la contribución de la innovación al desarrollo. La relación positiva entre innovación y desarrollo económico ya ha sido establecida en diversas investigaciones, algunas mencionadas en este artículo.

La investigación que se presenta explora más allá del desarrollo económico y busca evidenciar la incidencia positiva de la innovación en otras formas de desarrollo, en especial humano y social. Para el efecto, se estiman tres modelos econométricos de corte transversal que cuantifican el aporte de la innovación al desarrollo económico, desarrollo humano y desarrollo social. Se consideran tres formas de desarrollo conforme a la evolución que la teoría económica experimentó sobre el tema los últimos cincuenta años.

2. Metodología

A nivel internacional, se utilizan los enfoques de desarrollo económico y de desarrollo humano para medir el desarrollo de un país. Quan [13] indica que el primero se basa solo en el monto de ingreso, el segundo también utiliza dicha variable y agrega educación y esperanza de vida, esta última como variable de las condiciones de salud. En fecha más reciente se ha agregado el enfoque de progreso social, elaborado por Porter y Stern [14], entre otros, con el objetivo de medir mejor el desarrollo humano y social.

De acuerdo con el enfoque de desarrollo económico, basado en el ingreso promedio por habitante, el Banco Mundial [15] clasifica a los países de la siguiente manera, según montos vigentes a 2008:

- Ingresos bajos: igual o menor de US\$ 975 al año por persona.
- Ingresos medianos bajos: de US\$ 976 a US\$ 3,855 al año por persona.
- Ingresos medianos altos: de US\$ 3,856 a US\$ 11,905 al año por persona.
- Ingresos altos: de US\$ 11,906 en adelante.

Con base en esta clasificación, por lo general, se cataloga a los países de ingresos altos como desarrollados y a los demás como países no desarrollados o en vías de desarrollo. Según las estadísticas del Banco Mundial a 2014, Qatar, con US\$ 134,420.0 era el país con mayor ingreso por habitante, seguido por Macao, con US\$ 120,140.0 y Singapur y Kuwait, con alrededor de US\$ 80,000.0 cada uno.

El enfoque de desarrollo humano intenta superar la visión económica del desarrollo. Para el efecto se basa en un índice que considera el nivel de ingreso, la educación y la esperanza de vida. El nivel de ingreso permite conocer si la persona posee recursos para tener un nivel de vida adecuado. La educación permite saber si la persona tiene acceso a los conocimientos, en este caso se utilizan las tasas de alfabetización de adultos y de matrícula. La esperanza de vida es un indicador de las condiciones de salud en que vive la persona, si son buenas vive más. El desarrollo humano se basa en la ampliación de oportunidades. La falta de dinero, educación o salud limitan las oportunidades de las personas para vivir una vida adecuada. El índice de desarrollo humano tiene una escala de cero a uno.

En el Informe sobre Desarrollo Humano de PNUD [16], los países se clasifican según el siguiente criterio:

- Desarrollo humano muy elevado: índice entre 0.80 y 1.0.
- Desarrollo humano elevado: índice entre 0.70 y 0.80.
- Desarrollo humano medio: índice entre 0.55 y 0.70.
- Desarrollo humano bajo: índice menor de 0.55.

De una lista de 187 países, 49 tienen un índice de desarrollo humano muy elevado, siendo encabezados en 2014 por Noruega, Australia y Suiza. De América Latina, solo Chile y Argentina están en dicho grupo. Cincuenta y tres países tienen desarrollo humano elevado, en este grupo se ubica Costa Rica. Los países con desarrollo humano medio son 43, incluyendo a Guatemala. El resto de países tiene desarrollo humano bajo.

El enfoque de progreso social pretende superar la visión económica del desarrollo. El progreso social se define como la capacidad de una sociedad para satisfacer necesidades básicas de sus ciudadanos y crear bases que le permitan sostener y mejorar su calidad de vida. El índice de progreso social se integra con base en indicadores de necesidades básicas, como nutrición, de bienestar, como salud, y de oportunidades, como libertad personal y de elección. De un total de 132 evaluados en 2014, según el informe elaborado por Porter y Stern [14], los mayores índices corresponden a Noruega, Suecia, Suiza, Islandia y Nueva Zelanda.

Existen varios índices para medir la innovación a nivel internacional, tales como el Índice Mundial de Innovación, publicado por la Organización de Propiedad Intelectual y el publicado por el Foro Económico Mundial, como parte del informe de Competitividad Global. En el mismo se mide la capacidad de innovación de los países.

En párrafos anteriores se mencionaron diversos estudios empíricos que establecen la relación positiva entre innovación e ingreso por habitante, como indicador del desarrollo económico, tal el caso del estudio de Lederman y Sáenz [11].

En este estudio también se opta por seguir el enfoque de explicar el desarrollo económico mediante los gastos de investigación y desarrollo y la innovación, para lo cual se plantea el siguiente modelo logarítmico de corte transversal:

$$\ln pibph = c + \beta_1 \ln id + \beta_2 \ln innovacion \quad (1)$$

Donde:

$\ln pibph$ = logaritmo natural del pib por habitante

$\ln id$ = logaritmo natural del gasto en investigación y desarrollo/PIB

$\ln innovación$ = logaritmo natural del índice de innovación

Los datos utilizados en la estimación del modelo de corte transversal se obtuvieron en lo que respecta al PIB por habitante de la base de datos del Banco Mundial (Banco Mundial, 2016). Los datos de investigación y desarrollo, así como los de innovación, se obtuvieron del Reporte Global de Competitividad del World Economic Forum [17]. La muestra se integra por 79 países, porque no todos los países del informe tienen datos de las variables del modelo.

También se calcula el siguiente modelo de corte transversal para explicar el desarrollo humano:

$$\ln idh = c + \beta_1 \ln id + \beta_2 \ln innovacion \quad (2)$$

Donde:

$\ln idh$ = logaritmo natural del índice de desarrollo humano

$\ln id$ = logaritmo natural del gasto en investigación y desarrollo/PIB

$\ln innovación$ = logaritmo natural del índice de innovación

Los datos del índice de desarrollo humano se obtuvieron del Informe sobre Desarrollo Humano de 2015. Los datos de investigación y desarrollo e innovación se obtuvieron del reporte de competitividad ya indicado y la muestra también fue de 79 países.

Por último se decide estimar el mismo modelo de corte transversal para explicar el desarrollo social:

$$\ln ips = c + \beta_1 \ln id + \beta_2 \ln innovacion \quad (3)$$

Donde:

$\ln ips$ = logaritmo natural del índice de progreso social

$\ln id$ = logaritmo natural del gasto en investigación y desarrollo/PIB

$\ln innovación$ = logaritmo natural del índice de innovación

Para este modelo, los datos de progreso social se obtuvieron del Índice de Progreso Social de 2014. Los datos de investigación y desarrollo e innovación son de la fuente ya citada. En este caso la muestra fue de 69 países, porque algunos países de la muestra original no aparecen en el reporte sobre progreso social.

En los tres modelos, se espera el siguiente resultado:

$$\beta_1; \beta_2 \geq 0 \quad (4)$$

Es decir, investigación y desarrollo e innovación inciden en forma positiva en el desarrollo.

3. Resultados

Los resultados del modelo para el desarrollo económico, que se muestran en la tabla 1, estimado utilizando el *software* Gretl, revelan que, en efecto, existe una relación positiva entre desarrollo económico y gasto en inversión y desarrollo como porcentaje del PIB e innovación. Dicha relación es estadísticamente significativa al nivel de 5%. Ambas variables contribuyen a explicar en 67% del PIB por habitante. Las pruebas de heteroscedasticidad y multicolinealidad, realizadas con el *software* Gretl, permiten descartar su existencia en el modelo estimado*.

Cada punto porcentual de gastos de investigación y desarrollo respecto al PIB aumentan el PIB por habitante en 0.40%. Cada aumento de 1% en el índice de innovación, incrementa 2.45% el PIB por habitante.

Tabla 1. Modelo econométrico del desarrollo económico

Variable	Coeficiente	Estadístico t
Constante	6.26445	7.61*
ln I&D	0.40453	4.37*
ln Innovación	2.44655	5.58*
R-cuadrado corregido	0.675	

*Significativo al nivel de 5%

Fuente: Elaboración propia

Las variables investigación y desarrollo e innovación también son útiles para explicar el valor del índice de desarrollo humano de los países, como lo ilustra la tabla 2, aunque en menor porcentaje, de 55%. Al igual que en el modelo anterior, no se detectó problemas de heteroscedasticidad y multicolinealidad. Ambas variables tienen menor incidencia en el índice de desarrollo humano que en el PIB por habitante, en especial la del índice de innovación cuyo aumento en 1% incrementa en 0.06% el índice de desarrollo humano.

Tabla 2. Modelo econométrico del desarrollo humano

Variable	Coeficiente	Estadístico t
Constante	4.1446	38.98*
ln I&D	0.1741	2.47*

ln Innovación	0.0639	4.99*
R-cuadrado corregido	0.551	

*Significativo al nivel de 5%

Fuente: Elaboración propia

Como lo muestra la tabla 3, el gasto en innovación y desarrollo inciden en un aumento de 0.05% en el índice de desarrollo humano por cada 1% del PIB que dedican los países en dicho gasto. En su caso, una mejora de 1% en el índice de innovación incide en 0.28% en el índice de progreso social, porcentaje menor que lo incidido en el PIB por habitante, pero mayor que el del índice de desarrollo humano.

Tabla 3. Modelo econométrico del desarrollo social

Variable	Coeficiente	Estadístico t
Constante	3.8931	35.20*
ln I&D	0.0545	3.70*
ln Innovación	0.2812	2.16*
R-cuadrado corregido	0.855	

*Significativo al nivel de 5%

Fuente: Elaboración propia

De nuevo las variables resultan ser válidas, desde el punto de vista estadístico, para explicar el nivel de desarrollo social alcanzado por los países, medido a través del índice de progreso social. La bondad de ajuste es menor a la de los otros dos modelos. Al igual que en el modelo del desarrollo humano, la variable innovación tiene mayor incidencia que la variable gastos de investigación y desarrollo, de 0.28% contra 0.06%, respectivamente. Este tercer modelo tampoco evidenció problemas de heteroscedasticidad y multicolinealidad, según las pruebas realizadas con el *software* Gretl.

Los resultados obtenidos en este artículo concuerdan, en la relación positiva entre innovación y PIB por habitante, con los de investigaciones realizadas para países miembros y no miembros de la OCDE, como el de Ulku [18] y el de Freimane y Balina [19] para la Unión Europea, así como realizados a nivel mundial, entre ellos el elaborado por Fagerberg, Srholec & Verspagen [20].

Entre la bibliografía consultada no se encontró una publicación que estudie la relación entre innovación y desarrollo humano o progreso social. En tal sentido este artículo aporta a dicha línea de investigación. Se decidió

calcular dichos modelos con el propósito de realizar una investigación exploratorio sobre la incidencia de la innovación y gastos de investigación y desarrollo sobre el desarrollo humano y el progreso social.

4. Conclusiones

Los resultados de los modelos estimados revelan que existe relación positiva y de causalidad de la innovación sobre el desarrollo de los países, como ya revelaban investigaciones anteriores enfocadas en el desarrollo económico.

La innovación contribuye a aumentar el desarrollo económico, humano y social de la población. Los resultados obtenidos indican que su mayor aporte es sobre el desarrollo económico, con un aumento alrededor de 2% en el PIB por habitante por cada 1% que aumenta el índice de innovación. El segundo mayor efecto es sobre el desarrollo social.

Desde la perspectiva de política pública debe de fomentarse la innovación.

5. Referencias

- [1] H. Barnes, *Historia de la economía del mundo occidental: Hasta principios de la segunda guerra mundial*. México, D. F.: Uthea, 1987.
- [2] A. Deaton, *El gran escape. Salud, riqueza y los orígenes de la desigualdad*. México, D. F.: Fondo de Cultura Económica, 2015.
- [3] T. Piketty, *El capital en el siglo XXI*. México: Fondo de Cultura Económica, 2014.
- [4] A. Szirmai, W. Naudé, & M. Goedhuys, *Entrepreneurship, innovation and economic development*. New York: Oxford, 2011.
- [5] J. Schumpeter, *Teoría del desenvolvimiento económico: Una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico*. México, D. F.: Fondo de Cultura Económica, 1963.
- [6] X. Sala-i-Martin, *Apuntes de crecimiento económico*. Madrid: Antoni Bosch, 2000.
- [7] D. Ray, *Economía del desarrollo*. Madrid : Antoni Bosch, 2003.
- [8] J. Contreras, & J. Blanco, "Innovación y crecimiento económico". *Economía y finanzas*, pp. 1-36, 2008.
- [9] H. Solorzano, & J. Ibañez, "Productividad e innovación tecnológica. Una perspectiva macroeconómica". *Revista Académica Eco*, pp. 16-30, 2016.
- [10] R. Nelson, & H. Pack, *The Asian miracle and the modern growth theory*. Washington: Banco Mundial, 1998.
- [11] V. Chandra, D., Eröcal, P., Padoan, & C., Primo, *Innovación y crecimiento. En busca de una frontera en movimiento*. México, D. F.: OCDE, 2009.
- [12] D. Lederman, & L. Saenz, *Innovation and development around the world, 1960-2000*. Washington: Banco Mundial, 2005.
- [13] G. Quan, *Desarrollo humano: Una introducción conceptual*. Guatemala: PNUD, 2007.
- [14] M. Porter, & S. Stern. (2005). Progreso social. Online. Disponible: http://progresosocial.org/descargas/resumen_ejecutivo_final.pdf.
- [15] Banco Mundial. (2016). Data base. Online. Disponible: <http://datos.bancomundial.org>.
- [16] PNUD, *Informe sobre desarrollo humano 2015. Trabajo al servicio del desarrollo humano*. Washington: PNUD, 2015.
- [17] World Economic Forum, *The global competitiveness report*. (K. Schwab, Ed.) Geneve: Autor, 2015.
- [18] H. Ulku, *R&D, innovation, and economic growth: An empirical analysis*. Washington: FMI, 2004.
- [19] R. Freimane, & S. Balina. "Research and development expenditures and economic growth in the EU: A panel data analysis". *Economics and Business*, pp. 5-11, 2016.
- [20] J. Fagerberg, M. Srholec, & B. Verspagen, *Innovation and economic development*. Maastricht: United Nations University, 2009.

6. Anexo

Índices de desarrollo de países seleccionados

País por continente	PIB por habitante	Índice de desarrollo humano	Índice de progreso social	Índice de innovación	Índice de I&D
Europa					
Alemania	47,821	91.6	84.0	5.6	2.88
Armenia	3,873	73.3	65.7	3.5	0.25
Austria	51,190	88.5	84.5	5.0	2.81
Azerbaiyán	7,884	75.1	62.6	4.1	0.22
Belgica	47,353	89.0	82.8	5.2	2.24
Bulgaria	7,851	78.2	70.2	4.1	0.62
Chipre	27,194	85.0	77.5	3.8	0.43
Croacia	13,475	81.8	73.3	3.1	0.75
Dinamarca	60,707	92.3	86.6	5.4	3.02
Eslovenia	23,999	88.0	81.6	3.7	2.58
España	29,767	87.6	81.2	3.8	1.27
Finlandia	49,824	88.3	86.7	5.6	3.31
Francia	42,733	88.8	80.8	4.8	2.23
Georgia	3,670	75.4	65.9	3.3	0.13
Grecia	21,498	86.5	74.0	3.3	0.69
Holanda	51,860	92.2	86.5	5.2	1.89
Hungria	14,029	82.8	74.8	3	1.27
Irlanda	54,374	91.6	84.7	5	1.58
Islandia	52,004	89.9	87.6	4	2.49
Italia	34,908	87.3	77.4	4.3	1.27
Kazajistán	12,602	78.8	61.4	3.7	0.17
Luxemburgo	116,664	89.2		5.3	1.16
Malta	22,776	83.9		4	0.72
Moldova	2,238	69.3	63.7	3	0.4
Montenegro	7,378	80.2	69.0	0.6	0.41
Noruega	97,307	94.4	88.4	5	1.63
Polonia	14,343	84.3	78.0	3.8	0.75
Portugal	22,132	83.0	81.9	4.3	1.46
República Checa	19,529	87.0	80.6	4.6	1.56
Rumania	9,997	79.3	68.4	3.7	0.5
Rusia	12,736	79.8	63.6	3.8	1.13
Serbia	6,153	77.1	69.8	3	0.72
Suecia	58,938	90.7	88.1	5.5	3.22
Suiza	85,594	93.0	88.0	5.9	2.96
Tayikistán	1,114	62.4	56.5	3.8	0.12
Turquía	10,515	76.1	66.2	3.7	0.86
Norteamérica					
Canada	50,235	91.3	86.9	4.6	1.71
Estados Unidos de América	54,629	91.5	82.9	5.9	2.80
México	10,325	75.6	67.5	3.7	0.42
América Latina					
Argentina	12,509	83.6	73.1	3.7	0.58
Bolivia	3,124	65.5	63.4	3.5	0.27
Brasil	11,384	75.5	70.9	3.3	1.15
Chile	14,528	83.2	78.3	3.7	0.36
Colombia	7,903	72.0	68.9	3.5	0.22
Costa Rica	10,415	76.6	77.9	4.3	0.47
El Salvador	4,120	66.6	64.3	4.4	0.03
Guatemala	3,673	62.7	62.2	4.2	0.04
Panamá	11,949	78.0	71.8	4.2	0.18
Paraguay	4,712	67.9	67.1	3.1	0.06
Trinidad	21,324	77.2		3.3	0.04
Uruguay	16,807	79.3	79.2	3.5	0.42

País por continente	PIB por habitante	Índice de desarrollo humano	Índice de progreso social	Índice de innovación	Índice de I&D
Asia y Oriente Medio					
China	7,590	72.7	59.1	4.2	1.93
Corea	27,970	89.8	77.7	4.7	4.03
Madagascar	449	51.0	44.5	3	0.11
Malasia	11,307	77.9	69.6	5.2	1.13
Hong Kong	40,169	91.0		4.5	0.73
India	1,581	60.9	53.1	4	0.82
Indonesia	3,492	68.4	60.5	4.8	0.08
Israel	37,208	89.4	72.6	5.8	4.25
Emiratos Árabes	43,962	83.5	72.8	4.7	0.49
Japón	36,195	89.1	83.2	5.4	3.38
Kuwait	43,594	81.6	69.2	3	0.1
Lesoto	1,034	49.7	52.3	3.1	0.01
Mongolia	4,129	72.7	61.5	3.3	0.23
Pakistán	1,317	53.8	45.7	4	0.33
Singapur	56,284	91.2		5	2.15
Tailandia	5,977	72.6	66.3	3.7	0.39
Vietnam	2,052	66.6		3.5	0.19
África					
Bahrein	24,885	82.4		3.8	0.04
Botswana	7,123	69.8	65.2	3.3	0.25
Burundi	286	40.0		2.8	0.12
Cabo Verde	3,641	64.6		3.5	0.07
Egipto	3,199	69.0	59.9	2.9	0.54
Etiopía	574	44.2	41.0	2.9	0.61
Gambia	484	44.1		3.7	0.13
Oceanía					
Mauricio	10,016	77.7	73.7	4	0.18
Nueva Zelanda	44,342	91.3	87.1	5.1	1.25
Omán	19,309	79.3		3.4	0.14
Sudáfrica	6,483	66.6	65.6	4.3	0.73

Fuente: Banco Mundial, 2016; World Economic Forum, 2015; Porter & Stern, 2014

Una mirada breve al software para gestión del conocimiento

A review of software knowledge management

José Luis Rodríguez García^{1*}, Marvin Josué Aguilar Romero², Nelson Roberto Raudales García³
^{1, 2, 3} Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales (IIES), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)
¹ jrodriguez@iies-unah.org, ² maguilar@iies-unah.org, ³ nraudales@iies-unah.org

Resumen– Actualmente, no basta contar con cantidades infinitas de información, además es requerida gestión de la misma, pero con este simple hecho tampoco es suficiente, puesto que en sí solo poseer la misma y saberla gestionar no sirve de mucho, ya que se necesita que tenga un sentido. De allí la necesidad en procesar, transformar y gestionar insumos e información para darle paso al conocimiento. Para esto se requiere de personas, herramientas, software especializados, entre otras, que permitan la utilización adecuada y óptima de dicho conocimiento. Debido al auge de la gestión del conocimiento recientemente se puede encontrar mucha literatura al respecto, unos años atrás no se encontraban casos de éxito, pero ahora es plausible contar con estos y poder enfocarnos en tratar de replicar dichos casos de éxito en algunas organizaciones. La metodología del presente consiste en la revisión basada en los procesos y métodos de los avances de la tecnología basada en gestión del conocimiento dentro de las organizaciones, se exploran comparativamente software e infraestructuras identificadas, las que son usadas por las empresas para lograr dicha gestión, partiendo desde los requerimientos de recursos, sus similitudes, sus posibles mejoras y estándares con los que cuentan, otros con los que podría contar y los que necesariamente deben ser incluidos, entre otros.

Palabras Claves– COBIT, Gestión del conocimiento, ISO, ITIL, TIC, Métrica V.3.

Abstract– Nowadays not only is sufficient to count on infinite amounts of information, it is also required manage it properly but with the simple fact it is not enough either since in itself only having the same and knowing how to manage it does not serve too much does not have a meaning hence the need to process transform and manage inputs and information to give way to knowledge. For this it is necessary people tools and specialized software among others that allow the adequate and optimal use of this knowledge. Due to the boom in knowledge management recently a lot of literature can be found few years ago there were no cases of success but now is easy to have this and be able to focus on trying to replicate some cases of success in some organizations.

Keywords– COBIT, Knowledge Management, ISO, ITIL, TIC, Metric V.3.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 26 de agosto de 2016

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

Según Marulanda, Giraldo y López definen la Gestión del Conocimiento (GC) como el proceso sistemático de buscar, organizar, filtrar y presentar información con el objetivo de hacerlo comprensible para las personas en un área específica de interés y, a partir del mismo determinar que se evalúa [1]. Además, según algunos autores especialistas en el Capital Intelectual (CI), desde este existen varios modelos para la medición del mismo, de los más conocidos son: el modelo de Sullivan, el modelo de Skandia, el modelo Brooking, el modelo de categorización de Roos, el modelo de Onge, el modelo de Sveiby y el modelo de Wiig, entre otros. Por otra parte, de los que establecen, coinciden en señalar tres

elementos que forman parte del concepto de capital intelectual: el capital humano, el capital estructural y el capital relacional. [2]

Actualmente transitamos por una era globalizada y tecnologizada en donde el conocimiento es poder en todos los aspectos. Ante ello se ve la necesidad de gestionar el mismo, pero esto es algo que históricamente ha venido en constante desarrollo, mismo que viene sugestionado por la evolución de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC's) y, de la información generada por las empresas.

El procesar y administrar la información de las empresas es urgencia primordial de las mismas, ello con el objeto de generar conocimiento el cual será clave para etiquetar a las empresas como competitivas y llegar

a ser líderes indiscutibles en los rubros correspondientes. Asimismo, para lograr dichos propósitos sobre la información son requeridos modelos y herramientas, que deben poseer insumos delimitando algunas de sus dimensiones, esto para lograr que la gestión del conocimiento sea una herramienta fundamental para la toma de decisiones empresarial.

Para garantizar un funcionamiento eficiente y eficaz dentro de sus procesos, las empresas modernas disponen de un sistema de información, el cual puede ser de un funcionar bien estructurado.

Dichos sistemas pueden optimizar los recursos, pero que el fin es satisfacer necesidades de información (gestión de conocimiento) a lo interno de las estructuras de recursos humanos de las empresas para cualquier uso que quieran estos darle a la misma.

Seguidamente, se abordan algunos modelos y *software* utilizado por empresas para la GC, en cuanto a estos últimos se hará un análisis de los mismos y las respectivas comparaciones.

Además, se examina resumidamente ciertos procedimientos técnicos de *software* existente para la GC, asimismo se identifican diferencias, similitudes, limitantes existentes que hay entre estos y se hacen sugerencias de algunas mejoras.

2. Objetivos

A continuación, enumeramos los objetivos que se proponen para la comprensión del tema explorado.

2.1 Objetivo general

- Analizar resumidamente los avances tecnológicos existentes que usan las empresas para la gestión del conocimiento.

2.2 Objetivos específicos

- Examinar por medio de la verificación el *software* existente para la GC.
- Identificar mediante lecturas críticas las diferencias existentes entre el *software* para GC examinado.
- Distinguir mediante observación, las similitudes que hay entre el *software* de GC examinado.
- Resumir mediante comparaciones, las limitantes que poseen este *software* de GC.
- Mencionar los estándares que debe satisfacer el *software* para la GC.
- Sugerir algunas mejoras.

3. Gestión del conocimiento (GC)

Como preámbulo diferenciaremos información de conocimiento, la primera tiene mucho que ver con la forma descriptiva y se relaciona de forma histórica con el pasado y presente, así como la toma de decisiones a partir de la misma.

Por otra parte el conocimiento se ve de forma predictiva y asociativa, este describe mucho los hechos escondidos [2].

Una breve descripción de lo que es la GC sería: procesos complejos u holísticos por los que se puede hacer transitar los datos para convertirlos en información que a su vez se pasa por técnicas para convertirla en conocimiento.

Para Watson, mencionado por Plasencia, la GC “implica la adquisición, el almacenamiento, la recuperación, la aplicación, la generación y el análisis de los recursos de una organización de forma controlada (...)” [3].

Para Díaz, Armas y Curbelola, GC “es un instrumento directivo de primera magnitud, capaz de contribuir sustancialmente al éxito y desarrollo de la organización, para ello se apoya en determinados principios básicos”. [4].

Por otro lado, para muchos expertos y tomándolos como bases, la GC se puede abordar desde dos enfoques, desde el capital intelectual (en el cual radica principalmente en la gestión de: capital humano, estructural y relacional¹ y, la GC observada como procesos y sistemas, los cuales hacen que el capital intelectual de una empresa crezca o se incremente, o bien contribuya a la generación de rentabilidad o utilidad, o contribuir a un desempeño económico exitoso de las instituciones, u organizaciones, entre otras.

Tales resultados efectivos apoyando la toma de decisiones y prepararse para el futuro, otra contribución del GC es que permite identificar, conocer los valores intelectuales con que se cuenta [5].

El buen uso de la GC por parte de una organización la convierte más competitiva, según Orozco y Suárez, la utilización de la GC en las organizaciones las vuelve “organizaciones inteligentes”, son aquellas capaces de recibir y procesar información, crear conocimiento a partir de la información procesada y usar el conocimiento para la toma de decisiones, de manera eficaz [6].

¹ Es decir, todos aquellos pensamientos, ideas y conocimiento que tiene cada persona en su cabeza)

4. Requerimientos para la gestión del conocimiento

Se pudiera hablar de muchos requisitos para la apropiada gestión de conocimiento dependiendo de diversos criterios.

A continuación proponemos abordarlos brevemente, considerando el tipo/ámbito/rubro según se requiera el conocimiento, esto porque la GC no es un proceso aislado ni mucho menos propio de un departamento en específico, al contrario, es un proceso que afecta la organización y debe ser implementado por los departamentos organizaciones e institucionales que corresponda, siendo la GC transversal a la funcionalidad institucional.

Se toma como punto de partida la organización observada en una estructura hasta llegar a requerimientos más específicos (técnicos), abarcando también aspectos subjetivos o no tangibles como la calidad, el prestigio, etc.

4.1 De calidad

Hablar de la misma es algo subjetivo ya que para algunos lo que es de buena calidad, para otros es considerado de regular.

Para otros de menor categoría o criterios y, así explorando e indagando y teniendo diversas opiniones sobre la misma; pero se enfocará no es que es algo de calidad o no, si no que afecta la calidad, y si bien es sabido, cómo ésta incide o afecta la información o buen comportamiento empresarial u organizacional

4.1.1 Aspectos que interfieren con la calidad de la información

Con el transcurrir del tiempo se ha visto el creciente número de formatos en los cuales se nos muestra y que podemos presentar la información, de esto se desprende la necesidad en desarrollar metodologías y técnicas para su identificación.

Con el floreciente aumento de las Tecnologías de la Información (TI) se refleja que el volumen de información va en ascenso generando con esto un crecimiento en las bases de datos con lo cual se requieren procesos de búsqueda, recuperación y selección cada vez más complejos y eficientes.

Otro aspecto que afecta la calidad de la información es por supuesto el acceso a internet, la red de redes; si bien es cierto que ha roto las barreras geográficas, ha propiciado el surgimiento de una cultura, la de la información, pero el poder transmitir, disponer y crear información lo hace un agente multiplicador de la

misma, que aunque ponga a disposición la información o conocimiento de quien sea, la misma debe pasar por un proceso más complejo de selección y verificación, ya que no todo lo que se publica es de calidad por lo cual se debe verificar su veracidad y fiabilidad.

4.1.2 Del tipo organizacional

Aparte de los aspectos mencionados anteriormente, también se requiere tener una estructura organizacional bien definida, un flujo de la información bien detallado y claro, puesto que estos factores inciden de manera directa en la GC.

Por otro lado, una gestión de recursos de TI usada racionalmente y eficientemente, ofrece a las instituciones acceso a cualquier tipo de información, pero, si no es así la gestión de este recurso presenta un obstáculo porque estas organizaciones no pueden organizar y convertir la misma, hecho que las limita a establecer procesos y proyectos eficaces y eficientes.

Ante el panorama sombrío previamente descrito es plausible controlar la GC mediante implementación en la empresa de certificaciones, haciendo uso de estándares basados en Objetivos de Control para la Información y Tecnologías Relacionadas (por sus siglas en inglés- *COBIT*) o estándares de la Organización Internacional de Normalización (por sus siglas en inglés-*ISO*).

Además, la Organización debe seguir guías como Conocimientos Involucrados en la Profesión de la Administración de Proyectos (por sus siglas en inglés-*PMBOOK*) o identificación de procesos mediante la ejecución de “Proyectos en un Entorno Controlado, versión 2” (por sus siglas en inglés-*PRINCE2*).

En lo relativo a requisitos de *software* para la GC se debe tener en cuenta estándares en áreas como ser:

- Calidad.
- Seguridad.
- Mantenimiento.
- Implementación.
- Ciclo de vida.
- Desarrollo.
- Implementación.

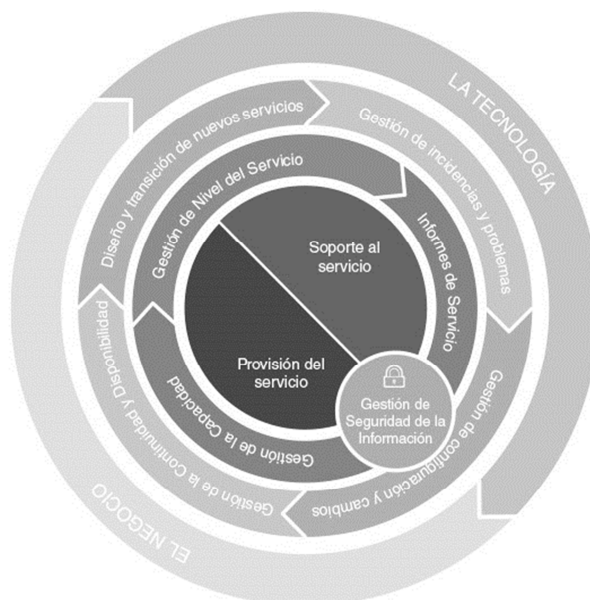


Figura 1. Modelo de enfoque ITIL.
Fuente: [8]

Dichos estándares deberían seguir guías como la Biblioteca de Infraestructura de Tecnología de la Información (ITIL), Métrica V.3 del gobierno de España, estándares ISO.

De estas guías y certificaciones tomaremos unas cuantas líneas en los próximos párrafos para explicar de forma clara y breve cada una sin ahondar ya que el objetivo es dar a conocer los mismos para un entendimiento.

4.1.3 COBIT

Los Objetivos de Control para la Información y Tecnologías Relacionadas (por sus siglas-COBIT)² es proporcionar buenas prácticas por medio de procesos de normalización internacional estructurados de TI.

Por otro lado, la misión de COBIT es investigar, desarrollar, publicar y promover un conjunto de objetivos de control generalmente aceptados, actualizados por ISACA [7] con lo cual garantiza la gestión de tecnologías de la información dándole un enfoque alineado al modelo de negocio.

COBIT en su versión cinco (5) se orienta en los principios siguientes:

1. Satisfacer las necesidades de los interesados (*Meeting stakeholder needs*).

2. Cubrir la empresa de extremo a extremo (*Covering the Enterprise end to end*).
3. Aplicar un solo marco integrado (*Applying a single integrated framework*).
4. Habilitar un enfoque holístico (*Enabling a holistic approach*).
5. Separar gobierno de administración (*Separating governance from management*).

En esta misma versión, COBIT aumenta a treinta y siete (37) los procesos que cubre, en referencia a su versión 4.1 en la cual abarcaba treinta y cuatro (34).

En la versión 5, cada uno de los procesos contienen prácticas de administración o de gobierno dependiendo del proceso, también integra *Val IT 2.0* y *Risk IT* el primero tiene que ver con gobernanza IT y el segundo con riesgos de negocios en IT. Procesos que se mencionan a continuación.

4.1.4 ITIL

Biblioteca de Infraestructura de Tecnología de la Información (por sus siglas ITIL), son estándares internacionales, que actualmente es el estándar a nivel mundial de facto en cuanto a gestión de servicios informáticos, sus orígenes se dan como guía para el gobierno de Reino Unido.

El objetivo de ITIL es proporcionar guías, conjuntos de conceptos, recomendaciones y buenas prácticas durante la administración, gestión, desarrollo y

² Tal estándar internacional creado por la Asociación de Auditoría y Control de Sistemas de Información (ISACA) a través de la ITGI (IT Governance Institute)

operación de servicios de tecnologías de la información, ello enfocado a la administración de procesos.

“ITIL® fue desarrollada al reconocer que las organizaciones dependen cada vez más de la informática para alcanzar sus objetivos corporativos. Esta dependencia en aumento ha dado como resultado una necesidad creciente de servicios informáticos de calidad que se correspondan con los objetivos del negocio, y que satisfagan los requisitos y las expectativas del cliente. A través de los años, el énfasis pasó de estar sobre el desarrollo de las aplicaciones TI a la gestión de servicios TI. La aplicación TI (a veces nombrada como un sistema de información) solo contribuye a realizar los objetivos corporativos si el sistema está a disposición de los usuarios y, en caso de fallos o modificaciones necesarias, es soportado por los procesos de mantenimiento y operaciones” [8].

4.1.5 PMBOOK

Es una guía de fundamentos para la dirección de proyectos la cual proporciona una pauta, definición de conceptos, describe ciclos de vida, brinda y fomenta un vocabulario común de conceptos, un código de ética para los profesionales en dirección de proyectos.

También brinda diferentes metodologías y herramientas para la implementación en el campo de la dirección de proyectos.

“La guía del PMBOK® contiene el estándar, reconocido a nivel global y la guía para la profesión de la dirección de proyectos. Por estándar se entiende un documento formal que describe normas, métodos, procesos y prácticas establecidos. Al igual que en otras profesiones, el conocimiento contenido en este estándar evolucionó a partir de las buenas prácticas reconocidas de los profesionales dedicados a la dirección de proyectos que han contribuido a su desarrollo”. [9]

4.1.6 ISO

La Organización Internacional de Normalización (ISO), es una organización internacional no gubernamental e independiente, cuyo objetivo es compartir conocimiento colaborativamente de sus miembros los cuales son expertos en diversas áreas del conocimiento (producción, servicios, sistemas, calidad, seguridad, eficiencia, etc.) los cuales desarrollan estrategias consensuadas, mismas que se convierten en normas internacionales que son aplicadas de forma voluntaria para aportar soluciones empresariales e institucionales y apoyan a la innovación a la problemática que aqueja a cualquier sector mundial.

Son muchas las normas y documentos publicados por ISO (más o menos 21000) que logran cubrir una amplia gama de rubros (industria, tecnología, seguridad alimentaria, agricultura, salud, etc.).

4.1.7 PRINCE 2

Método para la gestión de proyectos que proporciona buenas prácticas para cualquier tipo de proyecto que ha logrado posicionarse en el estándar por hecho para la organización, gestión y control de proyectos, consiste en la división de proyectos en fases adaptables para poseer un control eficiente de recursos y control de la evolución del mismo. *PRINCE2* se centra en la obtención de resultados concretos es decir gestión por resultados, también brinda un lenguaje común en proyectos.

4.1.8 Métrica V.3

Metodología que ofrece una guía práctica y útil para la sistematización de actividades dentro del ciclo de vida del *software*, dichas actividades se plantean en procesos como planificación, estudio, análisis, diseño, etc., de sistemas. Dicho estándar internacional está orientado a identificar y optimizar procesos, además cuenta con interfaces y técnicas las cuales son usadas e implementadas por diferentes participantes.

4.2 Del tipo técnico

Para la GC debe tomarse en cuenta la relación de datos, información y conocimiento, que debe ser dinámica e iterativa, esto para llevar dichos componentes a un almacén de datos (*data warehouse*), convirtiendo a este un requerimiento fundamental para la GC, de aquí partiremos para ir enumerando y describiendo cada uno de los requerimientos para la GC.

Recordemos la diferenciación entre información y conocimiento puesto que esto tiende a la confusión al momento de hablar de gestionar la información o gestionar el conocimiento.

Dentro de los requerimientos, también hay diferencias para realizar dicha gestión según sea el caso, de la información partimos para generar conocimiento, el conocimiento permite el reconocimiento de patrones en la información, pudiendo crear modelos para predicción de situaciones y generando GC.

Volviendo a los requerimientos, aparte de un almacén de datos, también se requieren bases de datos (BD), como los sistemas gestores de bases de datos (SGBD), a su vez dentro del mundo de los SGBD

podemos hablar de modelos de diseño de bases de datos o modelado de datos.

Para esto, existe un lenguaje unificado de modelado (por sus siglas en inglés- *UML*) dentro de los modelos tenemos el orientado a objeto y el orientado al flujo de datos. Contextualizando en cuanto a conceptos de lo mencionado antes; una BD es “un sistema computacional de mantenimiento de registros, cuyos registros son colecciones auto-descriptivas y con

registros integrados” [10], un SGBD “es un sistema que conserva los registros que corresponden a un fenómeno o proceso de manera computarizada con el propósito general de mantener los datos actualizados y garantizar la disponibilidad de la información de acuerdo con la demanda”.

Por otro lado, un almacén de datos es una colección de datos cuyo análisis ayuda a la toma de decisiones.

Otro requerimiento necesario es la Inteligencia de

Tabla 1. Limitaciones con que cuenta el *software* para la GC (consultados)

Anemva KMS	Axios Systems	SysAid	Impact Now KM Solutions
No es integral, es modular	No posee una GC pura	No cuenta con certificaciones ni estándares internacionales de calidad.	No cuenta con certificaciones ni estándares internacionales de calidad.
No es <i>full</i> multiplataforma	No es <i>full</i> multiplataforma	No es <i>full</i> multiplataforma	No es <i>full</i> multiplataforma
No posee un cliente de escritorio.			
No posee versión de prueba.			

Elaboración propia.

Datos obtenidos de los manuales técnicos de cada *software*.

negocios (por sus siglas en inglés- *BI*) en cuanto a técnicas, procesos, métodos y *software* para BI; estos últimos son una serie de tecnologías y aplicaciones que contribuyen a recabar, acceder, almacenar y analizar las colecciones de datos.

Dicho apoyo viene en forma de reportes y accesibilidad a la información a través de datos para la toma de decisiones.

Todas estas técnicas y requerimientos, de cualquier naturaleza, conllevan por parte de la empresa cierto aporte económico el cual con un buen uso de la GC y una buena toma de decisiones.

Dicho aporte es retornable con retribución, por lo cual se hace a un lado el paradigma que las unidades de TI solo generan gastos para dar paso a generar ganancias e inversiones más confiables y sustentables volviéndose en cierta medida autosustentables.

5. *Software* para la GC

Debemos tener claro que toda empresa con información posee conocimiento, que mediante procesos bien definidos puede llegar a gestionar fortalezas y oportunidades de los equipos de trabajo para brindarles información con la cual pretende la toma de decisiones y soluciones de forma eficiente en menor tiempo, logrando así una ventaja competitiva ante las demás.

Actualmente para cada área del conocimiento se cuenta con un vasto abanico de opciones, pero en el campo de la GC no se cuenta con el mismo abanico, luego de la búsqueda se llegó a recaudar muy poca información con respecto al *software* que se quiere analizar y las opciones disponibles no todas permitían el contacto directo con el mismo por lo cual se tomó las especificaciones técnicas del fabricante para el análisis y para la mención del mismo.

A continuación, se enlista y se da una breve explicación del *software* que es objeto de nuestro estudio.

5.1 Anemva KMS

Suite de sistemas para la GC formado por un conjunto de procesos y herramientas.

5.2 Axios Systems

Es una empresa con una serie de *software* para la gestión dentro de las operaciones de la empresa desde servicios empresariales hasta gestión de activos.

5.3 SysAid

Es un conglomerado de soluciones al igual que Axios pero a diferencia de esta SysAid posee un módulo integrado para la GC.

5.4 Impact Now KM Solutions

Es una empresa que a diferencia de las anteriores utiliza *software* especializados según el ámbito y rubro del cliente como ser:

- *NOW.NGO*: especializado en ONG's y Organizaciones Multilaterales.
- *NOW.INDUSTRY*: especializado para empresas privadas, enfocado en el ámbito industrial y comercial.
- *NOW.INVEST*: este es para el ámbito de *venture capital* y en el manejo de proyectos y fondos.

6. Análisis del *software*

Según [11] “la organización de la información consiste en la estructura formal que, como resultado de las variables analizadas, dispone, define y coordina las diferentes etapas del ciclo de vida de la información con el propósito de cumplir con los objetivos del sistema”.

Recientemente, se requiere de la implementación de herramientas informáticas las cuales necesitan un sistema estructural de la información bien organizado

que permita la accesibilidad, escalabilidad y predecir comportamientos futuros.

En adelante se presenta un análisis exploratorio referente al *software* mencionado en la sección anterior, tomando en cuenta sus diferencias, similitudes y limitantes para luego poder proporcionar algunas recomendaciones y conclusiones.

6.1 Similitudes

Las similitudes que se denotaron son un tanto generales, aparte de su funcionamiento hacia la GC, entre las cuales tenemos:

- Ambiente Web.
- Área de administración.
- Uso bastante amistoso e intuitivo.
- Enfoque tanto para usuarios expertos como usuarios finales.

6.2 Limitantes

En la tabla 1 hacemos una breve pero ilustrativa comparativa entre las limitantes que poseen cada *software* que fue investigado y consultado para este estudio.

Tabla 2. Diferencias encontradas entre el *software* para la GC consultados

Anemva KMS	Axios Systems	SysAid	Impact Now KM Solutions
Suite de sistemas para GC. -o-	Suite de sistemas para la gestión según el área de la empresa. Sección de administración por área.	Sistema modular con un módulo para la G.C Panel administrativo de todos los módulos del sistema.	Suite de sistemas especializados según rubro de la empresa basado en proyectos. Panel Administrativo por proyecto.
Aplicación Web con Soporte <i>Cloud</i> -o-	Aplicación web -o-	Aplicación web con soporte <i>cloud</i> y de escritorio. Soporte para análisis de BI	Aplicación Web. -o-
-o- Licencia privativa	Versión de prueba a solicitud. Licencia privativa	Versión gratuita y versión de prueba. Licencia privativa	Versión de prueba por contacto con solicitud. Licencia libre
No es multiplataforma	No es multiplataforma	Multiplataforma	Full multiplataforma
ISO (20000; 27000; 30300) Enfoque a la información y gestión documental para llegar a la GC.	ITIL 3.0 Se enfoca en la gestión por área para luego tener acceso a la información según el área.	-o- Integración de todas las áreas de la empresa para luego llegar a la GC mediante técnicas de BI entre otras y herramientas que proporciona la misma suite.	-o- Cual sea el rubro de la empresa posee un <i>software</i> especializado según el caso, su enfoque es por rubro.

Elaboración propia

Datos obtenidos de los manuales técnicos de cada *software*

6.3 Diferencias

En la tabla 2 se enumeran las diferencias encontradas entre cada *software* de GC analizado y consultado para llevar a cabo este artículo.

Se debe tomar en cuenta que estas diferencias son “superficiales” puesto que en ningún momento se tiene una clara descripción del manejo de información, conversión de la misma en conocimiento, la presentación de datos, entre otros factores que en algún momento podrían ser relevantes o interesantes saberlos.

6.4 Recomendaciones

Un sistema para la GC debe ser organizado, distribuido, escalable y concurrente, ejecutándose simultáneamente con el propósito de:

- Obtener datos, información y conocimiento organizados e integrados como también accesibles por parte de los tomadores de decisiones y todos aquellos que necesiten de ellos.
- Contar con un lenguaje unificado para el almacenamiento y recuperación de los datos, información y conocimiento, dicho lenguaje debe ser conocido por los usuarios.
- Poseer fuentes confiables, confidenciales si es requerido, precisas y exhaustivas de datos, información y conocimiento.
- Disponer de métodos para medición de resultados dentro y fuera de la institución partiendo de los datos, información y conocimiento.
- Ser capaz de transmitir los datos, información y conocimiento eficaz y eficientemente.
- Tener la capacidad de hacer una gestión eficiente y eficaz de los proyectos.
- Optimizar procesos para así incrementar la productividad.
- Un mayor uso de los recursos existentes dentro de la organización

En las siguientes líneas se proponen de forma general recomendaciones tomando en cuenta las limitaciones, recordemos que lo anterior se ha construido por una simple lectura de documentos técnicos que son proporcionados por los fabricantes en sus sitios web o por contacto vía correo electrónico.

- Disponer de certificaciones con estándares de calidad, guías de procesos y certificaciones internacionales como ser *ISO*, *ITIL*, *PMBOOK*, entre otros, ya que ello vuelve los procesos y productos más eficientes, eficaces y con un grado de confiabilidad bastante elevado.

- En la actualidad es fundamental tratar de abarcar todas las áreas de interés empresarial y posicionarse en todos los campos. Un *software* que solo sirva para un sistema operativo (SO) en específico no es malo, pero cuando hablamos de *software* con infraestructura cliente-servidor, *on cloud*, es fundamental poseer no solo soporte para 1 o 2 SO si no ser *full* multiplataforma.
- En cuanto a GC se debe tener claro que dicha gestión es transversal a todas las áreas y ámbitos de las empresas. Por lo tanto, una salida de un proceso es la entrada para otro y así sucesivamente estas se convierten en información la cual mediante un tratamiento especial es convertida en conocimiento.
- Se debe buscar siempre la comodidad para todos los niveles de usuarios, es fundamental tener un panel de administración cuya funcionalidad es poseer todos los niveles de configuración centralizados en este, además poseer una interfaz de escritorio es un valor agregado que cualquier usuario final agradecerá.

Debemos tener claro que la implementación de metodologías, estándares, certificaciones o seguir guías no lo es todo, pero sí ayuda mucho con respecto a *software*, podemos observar en la tabla 3 en qué campo nos puede ayudar la implementación de lo antes mencionado.

7. Conclusiones

- La GC todavía se ve como un proceso algo apartado del día a día en los procesos dentro de las empresas, eso lo podemos ver en la mayoría del *software* consultado para esta investigación.
- Todavía en el campo de la GC no se da el paso en la tecnología móvil, la mayoría del *software* consultado no posee *APPS* o *API*'s si quieres para poder hacer accesible el conocimiento y la información.
- Existe *software* con licencia libre para la GC. La implementación de guías, estándares y certificaciones durante los procesos de análisis, diseño, desarrollo y/o implementación de *software* todavía no es una prioridad dentro de la industria del *software* mucho menos para el campo de la GC, lo cual debería ser lo opuesto, ya que la GC debe ser regida por una buena concepción, administración y gestión de los datos, con el objetivo de tener información válida y verificable para proporcionar conocimiento de alta calidad y utilidad.

Tabla 3. Análisis y Resumen de metodologías, estándares, certificaciones y guías

	COBIT	ITIL	PRINCE2	PMBOOK	ISO	Métrica V3
Tipo	Guía	Estándar	Guía/Metodología	Guía	Estándar/Norma	Guía/Metodología
Certificación	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Enfoque	Procesos	Servicios y Procesos TI	Gestión de Proyectos	Dirección de Proyectos	Procesos, Servicios, Proyectos, Sistemas, entre otros	Actividades del ciclo de vida de <i>software</i>
Uso	Pago	Libre	Pago	Pago	Pago	Libre
Contexto/Ámbito	Empresa	Tecnología	Empresa	Empresa	General	Tecnología
Apoyo para procesos de GC	Sí	Posiblemente	Sí	Sí	Sí	Posiblemente
Apoyo para sistemas de GC	Sí	Sí	Sí	Sí	Posiblemente	Sí
Se requiere en procesos y sistemas de GC	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Elaboración propia

8. Referencias

- [1] Marulanda, C. E., Giraldo, J. A., and López, M., “Evaluación de la gestión del conocimiento en las organizaciones de la red de tecnologías de información y comunicaciones del eje cafetero en Colombia,” *Inf. tecnol.*, vol. 24, no. 4, pp. 23–24, 2013.
- [2] Tristá Pérez, B., “Gestión del conocimiento en las organizaciones. Potencialidades y limitaciones en las IES. (Spanish),” *Revista Cubana de Educacion Superior*, pp. 3–14, 2005.
- [3] Jesús Plasencia, A. de, “Knowledge management and its implementation in organizations,” *Tono: Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A.*, vol. 7, no. 1, p. 4, 2010.
- [4] Díaz, D. G., Armas, M. P. de, and Valladares, I. C., “Gestión del conocimiento y su importancia en las organizaciones. (Spanish),” *Ingeniería Industrial*, vol. 26, no. 2, pp. 37–46, 2005.
- [5] Sánchez Díaz, M., “Breve inventario de los modelos para la gestión del conocimiento en las organizaciones. (Spanish),” *ACIMED*, vol. 13, no. 6, pp. 1–18, 2005.
- [6] Orozco Silva, E. and Carro Suárez, J. R., “Propuesta de estrategia para la introducción de la gestión de la información y la gestión del conocimiento en las organizaciones cubanas. (Spanish),” *Ciencias de la Información*, vol. 33, no. 1, pp. 17–23, 2002.
- [7] Estébanes, E. M. and Cano, J. C. G., “Gobierno de ti a través de Cobit 4.1 y cambios esperados en Cobit 5.0,” *Ecorfan Journal*, vol. 2, no. 5, pp. 109–131, 2011. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3823460.pdf>.
- [8] OGC, ¿Qué es ITIL®? http://itil.osiatis.es/Curso_ITIL/Gestion_Servicios_TI/fundamentos_de_la_gestion_TI/que_es_ITIL/que_es_ITIL.php.
- [9] Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK), Quinta edición. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, 2013.
- [10] Jesús Plasencia Salgueiro, Armando, “Aplicaciones Tecnológicas para la implementación de la Gestión del

Conocimiento en las organizaciones. (Spanish),” *Tono: Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A.*, vol. 7, no. 1, pp. 10–19, 2010.

- [11] Alonso, D. V., *INFORMACION: Procesamiento de Contenido*, 1997. <http://nuevoparhadigma.com/proce.htm>.

Prototipo de un dispensador automático de bebidas basado en visión artificial para estudio de experiencia de usuario

Computer vision-based automatic beverage dispenser prototype for user experience studies

Fernando Merchán^{1*}, Elba Valderrama² Martín Poveda³

^{1,3}Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá, ²Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá

¹fernando.merchan@utp.ac.pa, ²elba.valderrama@utp.ac.pa ³martin.poveda@utp.ac.pa

Resumen– El presente trabajo presenta diversos aspectos de la implementación de un prototipo de sistema de venta de bebidas automático basado en visión artificial. Este sistema incorpora tecnologías de tipo sin contacto incluyendo reconocimiento facial para la identificación de usuario y reconocimiento de gestos para la selección de la bebida. Este prototipo se presenta como una plataforma de pruebas para explorar la aceptación de estas tecnologías en los usuarios y para compararla con otras tecnologías como las pantallas táctiles. Además de presentar los aspectos técnicos del dispositivo, presentamos observaciones iniciales del estudio de interacción hombre máquina. Estas observaciones de interacción y de tipo técnica nos permiten proponer perspectivas de mejoras para esta plataforma y de las implementaciones comerciales de este tipo de dispositivos.

Palabras claves– máquina de ventas, reconocimiento facial, reconocimiento de gesto de manos, interacción hombre máquina.

Abstract– This paper presents several aspects of the implementation of a prototype of automatic beverage dispenser with computer vision functionalities. The system presents touchless technologies including face recognition for user identification and hand gesture recognition for beverage selection. This prototype is a test platform to explore the acceptance of these technologies by consumers and to compare it with other technologies such as touch screens. We present both the technical aspects of the device and some observations of human-machine interaction. The perspectives gained may be useful in the future for developing a commercial implementation.

Keywords– automatic beverage dispenser, face recognition, hand gesture recognition, human-machine interaction.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 27 de febrero de 2017

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

Ha habido recientemente mucho interés en el uso de tecnologías de visión por computadora e investigación en aspectos de interacción hombre máquina para crear interfaces fáciles de usar para varias aplicaciones.

Por un lado, los sistemas de reconocimiento de rostros han sido introducidos en muchos contextos incluyendo: la videovigilancia, el control de acceso y la identificación automática de usuarios [1-3]. Muchos enfoques han sido presentados para tratar el reconocimiento de rostros y tareas relacionadas [4-8].

Algunos ejemplos de sistemas de reconocimiento facial en tiempo real son presentados en [9-11]. En [9],

Fei Zuo et al. desarrollan un sistema automático de reconocimiento de usuario en ambiente de casa inteligente interconectada. El mismo alcanza 95% de precisión con una velocidad de 4 fps (fps, fotogramas por segundo). Otros sistemas han sido desarrollados sobre FPGA [12,13]. Por ejemplo, en [12], el sistema fue implementado usando tecnología VHDL, usando una tarjeta Virtex-5 FPGA. El mismo usa el algoritmo de Viola & Jones para la detección de rostros y el método de *eigenfaces* para el reconocimiento de rostros.

El reconocimiento de gestos corporales también ha sido introducido inclusive en los hogares en el contexto de dispositivos de videojuegos tales como el Kinect [14]. También ha habido un gran interés en el desarrollo

de algoritmos de reconocimientos de gestos de manos por visión por computadora en el contexto de la interacción hombre-máquina [15,16].

Los servicios basados en tecnologías de información han atraído la atención de la industria de alimentos. Por ejemplo, las *tablets* son usadas como menú en un restaurante y la ubicación de la persona es utilizada para dar acceso a información de descuento a clientes [17].

Desde hace décadas, las máquinas expendedoras han sido un canal de ventas importantes para la industria de comidas, bebidas y otros productos. Sin embargo, se ha demostrado que los dispensadores automáticos de bebidas y comidas pueden tener bacterias peligrosas [17]. Los investigadores no están seguros cómo las bacterias ingresan en las dispensadoras. Se sospecha que el ingreso es debido a la utilización de las máquinas con las manos contaminadas o en el momento de la limpieza de las mismas con paños húmedos. Por esta razón, surge un interés en incorporar tecnología sin tacto en estos sistemas. Un ejemplo, de un sistema de venta de bebidas sin contacto fue patentado por Barton & Barton [18]. Por ejemplo, se han presentado patentes para la utilización de reconocimiento de gestos para la visualización y selección de productos [19].

Algunos sistemas inteligentes con funcionalidades sin contacto en dispensadores automáticos han sido propuestos. En [20], se presenta una implementación de un sistema de cobro o registro de consumo automático basado en reconocimiento facial en un dispensador de cervezas. La tarea de reconocimiento de rostro es implementada en una Raspberry Pi. El sistema reconoce el rostro de la persona que se sirve la bebida y realiza el cobro en función de la bebida y el volumen servido. Este prototipo es de construcción casera y funciona de manera “*stand alone*”.

Antes de implementar este tipo de sistemas de venta inteligentes es pertinente evaluar la aceptación por parte de los usuarios de estas nuevas tecnologías y detectar las posibles dificultades de utilización.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo de sistema inteligente de venta de bebidas utilizando herramientas de visión computacional. Este prototipo incluye capacidades de:

- a) Reconocimiento facial para la identificación de usuario.
- b) Reconocimiento de gestos de manos para la selección de bebidas.

También incluye el uso de una pantalla táctil con el fin de poder presentar varios escenarios de prueba combinando tecnologías táctiles y sin contacto para la identificación del usuario y la selección de la bebida. El objetivo de este prototipo es servir como plataforma de pruebas de experiencias de interacción de hombre-máquina a fin de explorar la aceptación de los usuarios a comprar comidas y bebidas con la tecnología sin contacto.

La contribución de este trabajo se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Presentar los aspectos de implementación de este sistema en términos de componentes físicos, plataforma de *software* y algoritmos.
- Presentar las conclusiones obtenidas de las pruebas iniciales.

El resto del artículo está organizado como sigue: la sección 2 presenta de forma general el sistema. En la sección 3 presenta los componentes físicos del sistema. La sección 4 presenta las funcionalidades de visión computacional del sistema, respectivamente. Los protocolos de prueba diseñados para el sistema se presentan en la sección 5. La sección 6 presenta las observaciones iniciales. La sección 7 presenta las perspectivas de este trabajo. La sección 8 concluye el artículo.

2. Descripción general del sistema

El sistema propuesto consiste en una plataforma que permite realizar pruebas con diferentes funcionalidades de un sistema dispensador de bebidas. Estas funcionalidades incluyen el ingreso de los datos vía teclado, la selección de opciones vía pantalla táctil, identificación de usuario por reconocimiento facial, selección de bebidas por movimientos de la mano. El sistema plantea un conjunto de tres posibles escenarios de prueba que consisten en una combinación de los elementos mencionados.

El sistema está desarrollado sobre el programa Matlab. El mismo es ejecutado en una computadora personal. El sistema se presenta mediante una interfaz gráfica que permite tener acceso a los escenarios de prueba y en cada uno de ellos a las funcionalidades descritas. El sistema registra para cada prueba realizada informaciones tales como: nombre de usuario, datos personales de la cuenta, hora y fecha de la prueba, escenario seleccionado, opciones de compra seleccionada y tiempo de duración de cada una de las

etapas de los escenarios de pruebas. Estos registros están a la disposición de los especialistas que realizan el estudio de experiencia de usuario.

Para el aspecto de dispensado de bebida propiamente dicho, la plataforma cuenta con un sistema electromecánico controlado por micro-controlador Arduino Nano. Este sistema se conecta vía puerto USB a la computadora.

A fin de entender cómo los usuarios se sienten e interactúan con una máquina de venta de bebidas sin contacto y con reconocimiento facial, hemos considerado tres escenarios de interacción. El escenario a utilizar se selecciona en la primera pantalla presentada al usuario.

Cada escenario presentará tres acciones: registro de usuario, identificación de usuario (*log in*) y selección de bebida. En cada escenario se presentan diferentes

combinaciones de tecnologías para la ejecución de las mismas.

A continuación, presentamos una descripción de los escenarios:

Escenario 1: el usuario se registra y se identifica usando un nombre de usuario y palabra clave introducidos por teclado. Las bebidas son seleccionadas mediante “botones” presentes en la pantalla táctil.

Escenario 2: el usuario se registra y se identifica usando reconocimiento facial. La selección de bebidas se realiza mediante la pantalla táctil.

Escenario 3: el usuario se registra y se identifica mediante reconocimiento facial. Las bebidas son seleccionadas usando reconocimiento de gestos de mano.

El diagrama de flujo general del prototipo es presentado en la figura 1.

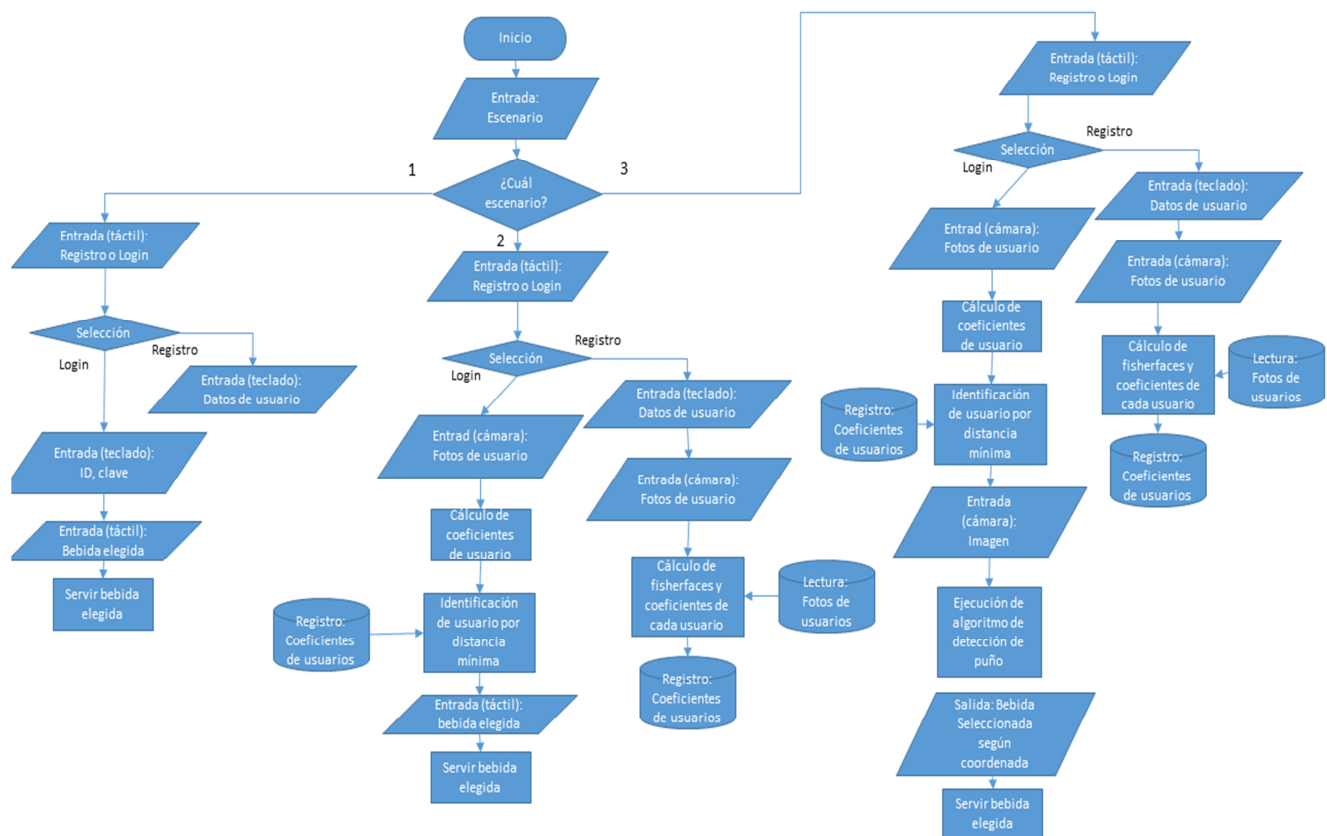


Figura 1. Diagrama de flujo del prototipo.

3. Componentes físicos del prototipo

El sistema propuesto está compuesto por una computadora personal, un sistema electromecánico

dispensador de bebida controlado por Arduino Nano, una cámara web, una pantalla táctil y un teclado (ver la figura 2). La computadora personal utilizada tiene un

procesador Core i7 de 2.5GHz y 8 GB de memoria RAM.

El sistema dispensador de bebida consiste en un conjunto de 3 bombas eléctricas de 12 voltios alimentadas por un regulador de voltaje con una salida de 12 voltios y 3 amperios. Las mismas bombean el líquido asociado a tres reservorios de tres bebidas diferentes. Las bombas están controladas por una plataforma electrónica basada en micro-controlador Arduino Nano. Tres pines de salida del Arduino activan la alimentación de las bombas mediante circuitos basados en transistores Mosfet tipo N, modelo IRFZ44N. Puede ver detalles de este sistema en la figura 3. El esquemático del circuito accionador se muestra en la figura 4. El microcontrolador Arduino está programado para activar cada una de las bombas en función de la señal recibida del puerto USB conectada a la PC. El tiempo de activación de la bomba ha sido configurado en función del volumen de agua para el llenado de los vasos usado en el prototipo.

La computadora personal ejecuta la interfaz gráfica desarrollada en Matlab. La cámara web es utilizada para las funciones basadas en visión artificial del equipo. El teclado permite ingresar datos para los escenarios de prueba con contacto. El monitor táctil permite visualizar las diferentes opciones y permite la operación táctil de la plataforma en el escenario correspondiente.

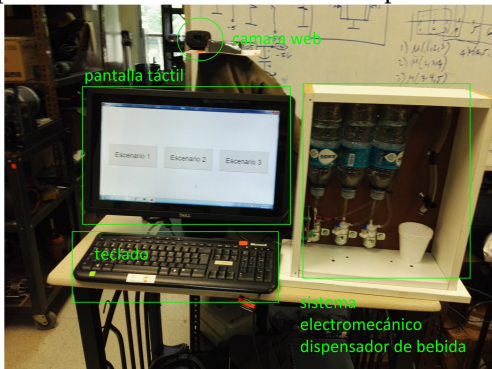


Figura 2. Plataforma de pruebas venta de bebidas (la figura presenta el sistema electromecánico dispensador de bebidas, pantalla táctil, teclado y cámara web).

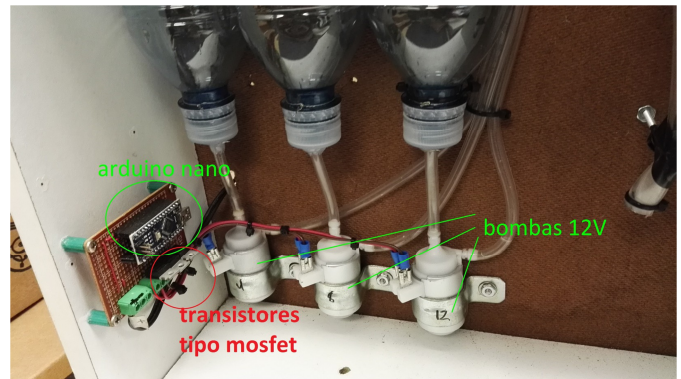


Figura 3. Sistema electromecánico dispensador bebidas.

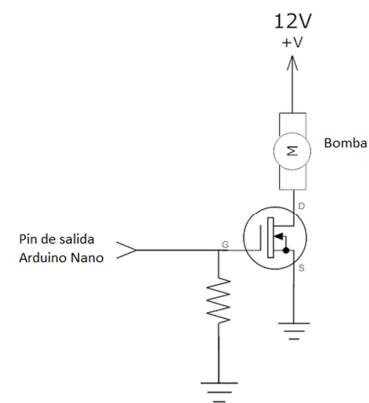


Figura 4. Esquemático de circuito accionador de las bombas.

4. Implementación de funciones de visión por computadora

Las funciones que distinguen al sistema propuesto son la identificación de usuario por reconocimiento facial y la selección de bebidas mediante el reconocimiento de gestos de la mano. A continuación, presentaremos aspectos de la implementación de estas funciones.

4.1 Reconocimiento facial para identificación de usuario

Para el reconocimiento facial se ha implementado un algoritmo basado en el Análisis Lineal Discriminante (LDA, por sus siglas en inglés) que también es conocido en la literatura como el método de *fisherfaces* [21,22]. Este método está a su vez relacionado con el método de *eigenfaces*.

El método de *eigenfaces* está basado en el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés). El mismo es ampliamente utilizado en el área

del reconocimiento facial por su simplicidad como por los buenos resultados que proporciona en ambientes controlados [23]. La idea principal de este método es aplicar una transformación ortogonal para convertir un conjunto de vectores de entrenamiento posiblemente correlacionados en un conjunto de vectores linealmente no correlacionados. Se encuentran así los mejores vectores que representan a la distribución de las imágenes. Estos vectores definen un subespacio correspondiente a las imágenes de los rostros de entrenamiento.

A continuación, daremos detalles de este método.

Se parte de un conjunto de imágenes de entrenamiento que corresponden a los usuarios del sistema. Estas imágenes, representadas en matrices $N \times N$, son organizadas en vectores de dimensiones $N^2 \times 1$ bajo la notación $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots, \Gamma_{M-1}, \Gamma_M$. En este conjunto de imágenes puede haber una o más imágenes por persona. El promedio Ψ de los vectores es calculado como sigue:

$$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \Gamma_i \quad (1)$$

Al conjunto de vectores $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots, \Gamma_{M-1}, \Gamma_M$ se le resta la imagen promedio como sigue:

$$\Phi_i = \Gamma_i - \Psi \quad (2)$$

Estos vectores se agrupan en la matriz A de tamaño $N^2 \times M$ como sigue:

$$A = [\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \dots, \Phi_{M-1}, \Phi_M] \quad (3)$$

La matriz de covarianza C de la matriz A se calcula como sigue:

$$C = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Phi_n \Phi_n^T = AA^T \quad (4)$$

Para el cálculo del PCA es necesario el cálculo de valores y vectores propios de la matriz C . En este punto notamos que las dimensiones de esta matriz, que es $N^2 \times N^2$, es órdenes muy grandes. Esto implicará un alto costo computacional y altos requerimientos de memoria. Se puede demostrar que podemos obtener un conjunto relacionado de vectores propios de la matriz $M \times M$ definida como sigue

$$L = A^T A \quad (5)$$

En efecto, dado los vectores propios $v_k (k = 1, 2, 3, \dots, M)$ de la matriz L , se pueden obtener los primeros M vectores propios $u_k (k = 1, 2, 3, \dots, M)$ de la matriz de covarianza C , mediante una combinación

lineal de los vectores diferencia Φ_i y los vectores propios de la matriz L . Este cálculo se expresa como sigue:

$$U = [u_1, u_2, \dots, u_M] \\ = [\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_M][v_1, v_2, \dots, v_M] = AV \quad (6)$$

En la práctica no es necesario utilizar todos los M vectores para reconstruir los rostros, esto permite reducir el tamaño de los vectores que representan a cada rostro en el nuevo subespacio PCA. Esto se logra eligiendo los vectores propios asociados con los valores propios de mayor valor. Cabe destacar es que si estos vectores se redimensionan al tamaño original de la imagen $N \times N$ se obtienen los *eigenfaces*, a partir de los cuales, haciendo una combinación ponderada de ellos, se pueden obtener las imágenes aproximadas de todos rostros almacenados en la base de datos.

Una nueva imagen de rostro de entrada Γ es trasformada en sus componentes de eigenfaces (es decir, proyectado en el *facespace*) mediante la operación siguiente:

$$\omega_k = u_k^T [\Gamma - \Psi] \quad \text{for } k=1, 2, 3, \dots, M' \quad (7)$$

donde el valor $M' < M$ se considera suficiente para la adecuada identificación.

Los pesos obtenidos forman el vector $\Omega^T = [\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_M, \omega_{M'}]$ que describe la contribución de cada eigenface para representar la imagen de rostro de entrada. El vector puede ser usado en un algoritmo estándar de reconocimiento de patrones para encontrar a cuál clase de rostros predefinido describe mejor la imagen de entrada. El método más simple para determinar cuál clase provee la mejor descripción de una imagen de entrada es encontrar la clase de rostro k que minimice la distancia euclidiana definida como sigue:

$$E_k = \|\Omega - \Omega_k\| \quad (8)$$

donde el vector Ω_k es un vector que describe a la clase k de rostros.

El objetivo de LDA es encontrar los vectores en el espacio subyacente que mejor discriminen entre clases. Para ello LDA proyecta los vectores obtenidos en PCA en un nuevo subespacio vectorial de manera que la razón entre la distancia entre clases y la distancia dentro

de la clase se maximice. De este modo, se garantiza una máxima discriminación entre las clases.

De este modo el LDA utiliza al PCA para encontrar los vectores que mejor definan las características de las imágenes dentro de todo el espacio de la imagen.

Para todas las imágenes de todas las clases se definen dos tipos de matrices de dispersión, una de ellas es representada como “entre clases”, S_B , y la otra como “dentro de las clases”, S_W . Las cuales son calculadas como sigue:

$$S_B = \sum_c N_c \cdot (\mu - \bar{x}) \cdot (\mu - \bar{x})^T \quad (9)$$

$$S_W = \sum_c \sum_{i \in c} N_c \cdot (x_i - \mu_c) \cdot (x_i - \mu_c)^T \quad (10)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_i x_i = \frac{1}{N} \sum_c N_c \cdot \mu_c \quad (11)$$

donde $\bar{x}$ es el promedio de todos los vectores proyectados en el espacio de *eigenfaces*. El vector μ_c es el promedio de los vectores proyectados en el espacio *eigenfaces* de cada clase y N_c es el número de muestra por clase c , el número de muestras de rostros por usuario.

Para maximizar la razón entre la distancia entre clases y la distancia dentro de la clase se deberá maximizar la siguiente expresión

$$J(W) = \frac{W^T \cdot S_B \cdot W}{W^T \cdot S_W \cdot W} \quad (12)$$

Donde las columnas de la matriz W es el conjunto de los vectores propios generalizados de S_B y S_W . A partir de estos vectores propios generalizados podemos obtener un nuevo espacio vectorial para la representación de las imágenes o espacio de *fisherfaces*. Para la identificación de usuario seguimos un proceso similar al utilizado en el método de *eigenfaces* basado en la distancia mínima euclidiana de los coeficientes en este espacio vectorial.

Cabe destacar que el método de *fisherfaces* es un método más robusto a condiciones de diferente iluminación con respecto al método de *eigenfaces* [22].

4.2 Preprocesamiento de la imagen

Ambos métodos de *eigenfaces* y *fisherfaces* requieren que el rostro bajo análisis esté perfectamente alineado para un óptimo reconocimiento. Por lo mismo se ha implementado 4 etapas de preprocesamiento propuestas por dos de los autores y pueden ser consultadas en [24]. Estas etapas buscan que las

imágenes adquiridas estén alineadas y centradas tomando como referencia la posición de los ojos. Además, se elimina aspectos adicionales al rostro como cabello y cuello. Las etapas de preprocesamiento son las siguientes:

A. Detección de rostro por algoritmo de Viola & Jones [25, 26].

Esta etapa tiene por objetivo determinar las coordenadas del rostro analizar (ver figura 5).



Figura 5. Rostro detectado.

B. Detector de falsos positivos de rostros.

Este detector de falsos positivos consiste en un filtro detector de color de piel y un detector de ojos (ver figura 6 y figura 7). El detector de ojos está basado en el algoritmo de Viola & Jones entrenado para este propósito [25, 26]. Se considera que el rostro ha sido detectado correctamente si el área correspondiente al mismo cumple con estas dos condiciones:

- Presenta un porcentaje de más de 70% de superficie de piel.
- Presenta dos ojos detectados.



Figura 6. Filtro detector de color de piel.



Figura 7. Ojos detectados.

C. Ajuste de Rotación, Escalamiento y Centrado

Esta etapa se aplica debido a que los rostros que se detectan no siempre cuentan con la misma posición, inclinación, escalamiento y centrado que se tienen en el conjunto de imágenes de muestra de usuarios. Todos estos pasos dependen de las coordenadas (x, y) de las pupilas, las cuales servirán de referencia para corregir estas diferencias.

D. Aplicación de máscara

Para que el reconocimiento no sea afectado por el fondo que se toma como parte del rostro, todas las imágenes, incluyendo las de la base de datos se pasan a través de una plantilla, la cual recorta algunas secciones de la imagen de menor interés para el análisis (ver figura 8).



Figura 8. Máscara aplicada a la imagen.

El método de *fisherfaces* requiere para cada usuario más de una foto. En la tarea de registro de usuarios de la plataforma, el sistema realiza siete capturas de imagen consecutivas. De cada imagen se obtiene un rostro y de esta manera se cumple con el requisito del método.

En la tarea de identificación de usuario, el sistema captura 20 imágenes consecutivas. Para cada una de estas fotos se realiza una identificación de usuario. El usuario seleccionado será aquel que sea identificado en mayor número de imágenes, en el caso de que en

algunas de las imágenes el sistema identifique usuarios diferentes debido a errores en el reconocimiento. Estos errores pueden deberse a imágenes en movimiento, mal enfocadas o pobre iluminación.

Tanto en la etapa de registro como en la etapa de identificación, el usuario puede ver en pantalla la imagen capturada por la cámara y un círculo de puntos amarillos alrededor del rostro detectado por el algoritmo de Viola & Jones. Esto se puede ver en la tarea de registro de usuario, presentada en la figura 9 y en la tarea de identificación de usuario, presentada en la figura 10. En caso de que haya más de un rostro en la imagen capturada, el sistema solo toma en cuenta aquel que ocupe una mayor superficie de la imagen, asumiendo que será el del usuario más cercano a la cámara (ver figura 11).

El tiempo que toma el sistema para identificar el usuario, incluyendo la activación de la cámara, la captura de las imágenes y el reconocimiento facial, es de aproximadamente 15 segundos en una computadora con procesador Core i7 de 2.5GHz y 8 GB de memoria RAM.



Figura 9. Ejemplo de etapa de registro de usuario.



Figura 10. Ejemplo de etapa de identificación de usuario.

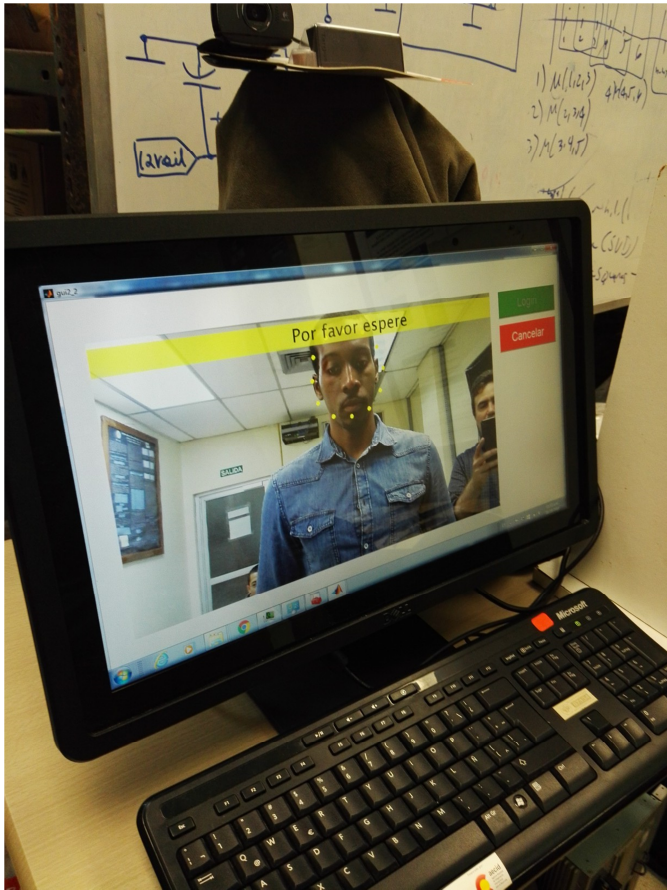


Figura 11. Identificación de un usuario con la presencia de más de un rostro en la imagen.

4.1 Reconocimiento de gestos de mano para selección de bebidas

Para el reconocimiento de gestos se utilizó un detector entrenado para el reconocimiento de la mano en posición de puño en posición vertical. Se puede apreciar en la figura 11 el gesto de mano mencionado. El detector está basado en el uso de filtros de Haar entrenados en cascada usando el método de Viola & Jones [25,26].

En el prototipo, el usuario tiene la opción de seleccionar entre tres tipos de bebida. En la etapa de selección de bebida el algoritmo identifica en coordenadas de la imagen se encuentra el puño. La bebida será seleccionada en función de la posición de estas coordenadas dependiendo si las coordenadas se encuentran en el tercio izquierdo, central o derecho de la imagen. Por ejemplo, si el gesto de puño vertical es detectado en el tercio derecho del de la imagen captada por la cámara (es decir, según la perspectiva del

usuario), la bebida seleccionada será aquella correspondiente al lado derecho. En la interfaz gráfica, la imagen de la bebida pasará de ser en tono de grises a estar a todo color (ver la figura 12).

El detector de gestos opera en tiempo real a una tasa de 30 imágenes por segundo.

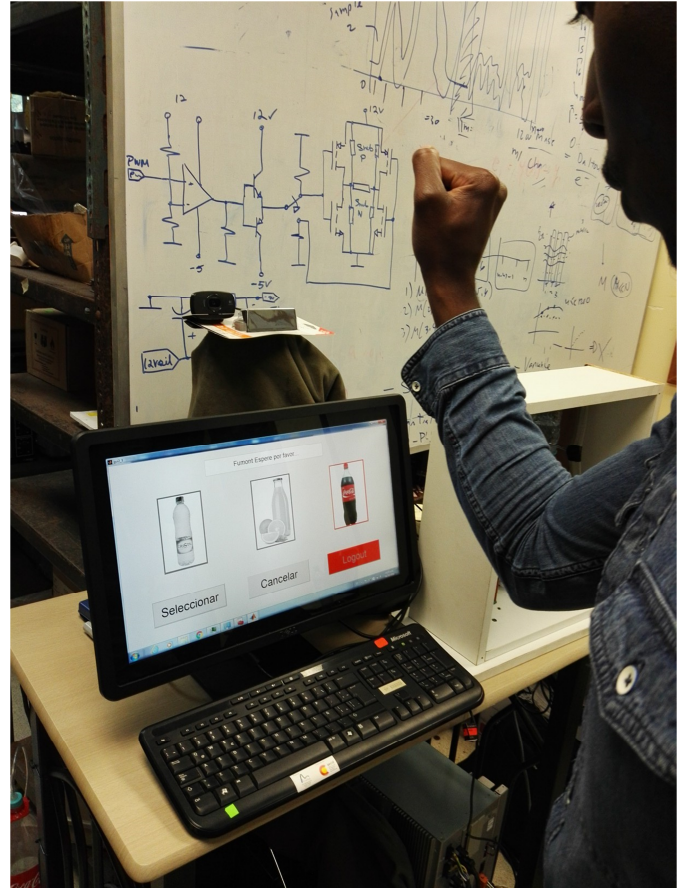


Figura 12. Etapa de selección de bebida por reconocimiento de gesto.

5. Protocolo de pruebas de experiencia de usuario

Estos tres escenarios que tiene el prototipo permiten realizar pruebas centradas en usuario para estudiar la experiencia de los mismos al utilizar el sistema. Para evitar sesgos se intercalan los escenarios de prueba para los diferentes participantes de la prueba. Mediante técnicas tales como encuestas, entrevistas, observación, cuestionarios previos y posteriores a la prueba y registro de tiempo de las etapas se puede determinar cómo interactúan y se comportan los usuarios con el prototipo.

El estudio está en progreso con participantes de diferente género, edades y nivel de formación.

Entre los resultados del estudio se espera obtener:

- Promedio de tiempo requerido en cada etapa y cada escenario en función del género, edad y antecedente del usuario.
- Escenarios preferidos según la categoría de usuario.
- Ventajas y dificultades del uso de reconocimiento facial y reconocimiento de gestos en sistemas de este tipo.

Los resultados de este estudio serán presentados en una futura publicación.

6. Observaciones de pruebas iniciales de la plataforma de pruebas

Una vez que el prototipo estuvo en operación se realizaron pruebas con 15 participantes a fin de identificar problemas técnicos y de experiencia de usuario de este prototipo. Algunas de estas observaciones ya han sido tomadas en cuenta en ciertos aspectos del sistema. Las observaciones de estas pruebas son las siguientes:

- La cámara debe ser ubicada de tal manera que los usuarios de diferentes estaturas entren en el campo de captura de la misma. En algunas de las pruebas, no se capturó el rostro de participantes altos y ubicados muy cerca de la cámara.
- En escenarios reales pueden haber más de una persona en la pantalla. Es necesario que el sistema pueda manejar esta situación seleccionando al usuario más cercano a la cámara.
- Presentar al usuario elementos que indiquen que las funciones de visión artificial están activas favorece las interacciones con la plataforma. Ejemplo de elementos indicativos son: el círculo de puntos amarillos alrededor del rostro detectado en la etapa de registro de usuario y en la etapa de identificación de usuario.
- Es conveniente presentar mensajes al usuario con indicaciones de acciones o de espera para facilitar la interacción.
- Para aumentar la fiabilidad del sistema a la hora de registrar o identificar los usuarios es preferible trabajar con varias imágenes capturadas. Esto permite minimizar errores de reconocimiento por problemas de imágenes en movimiento.

7. Perspectivas del sistema

Este prototipo puede ser mejorado en varios aspectos. Por un lado, se plantea implementar el sistema en una computadora más compacta tal como la Raspberry Pi. Se tiene planificado que la interfaz gráfica y los algoritmos sean implementados utilizando otros lenguajes y plataformas de desarrollo abiertas, pensando en una posible implementación comercial.

Con respecto a los algoritmos de visión, se plantea estudiar la pertinencia de otros métodos de reconocimiento de rostros y gestos basados en redes neuronales convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés) [27], considerando el contexto de aplicación. En lo que a la selección de bebidas se refiere podrían explorarse otros enfoques tales como el uso de diferentes tipos de gestos de manos, análisis de orientación de un dedo que señale el producto deseado o el uso de seguimiento de la vista.

7.1 Arquitectura distribuida propuesta

En paralelo con la implementación de este sistema se realizó una reflexión sobre el tipo de arquitectura que podría tener un sistema de reconocimiento de usuario en la plataforma de venta automática operando en diferentes tiendas de una franquicia.

Podemos notar que, en la mayoría de las aplicaciones de reconocimiento facial, por ejemplo, en sistemas de videovigilancia, los algoritmos son ejecutados en un servidor, mientras que el dispositivo local solo dispone del sistema de adquisición de imágenes. También, en muchos casos, las bases de datos están preestablecidas.

Si consideramos el contexto de múltiples dispositivos dispensadores en varios lugares, proponemos el uso de una arquitectura distribuida cliente-servidor para el sistema de reconocimiento de rostro. En esta arquitectura, el sistema cliente ejecuta una rutina de identificación de bajo costo computacional usando parámetros o detectores entrenados previamente provistos por el servidor. Por otra parte, el servidor será el responsable de la etapa de entrenamiento del algoritmo. En el caso de la llegada de un nuevo usuario, el cliente proporcionará al servidor de un grupo de imágenes del usuario. Luego el servidor procede a la etapa de entrenamiento del algoritmo y finalmente proporciona a los sistemas clientes de los parámetros o detectores entrenados actualizados para la tarea de identificación.

7.2 Posibles aplicaciones y ventajas del sistema propuesto

Este tipo de sistema de venta de productos inteligente podría implementarse en otros contextos. Por ejemplo, en las escuelas podría permitir un monitoreo y control del consumo de comidas dispensadas en máquinas de ventas a cada niño. Inclusive podría permitir el establecimiento de políticas de control de venta en función de la edad o problemas de salud, incluyendo alergias a productos.

También en el ámbito escolar, un sistema similar se podría establecer a nivel de las cajas de cafeterías para un cobro directo a la cuenta de los clientes por reconocimiento facial.

8. Conclusiones

Este artículo presenta un prototipo de un sistema de venta de bebidas automático con funcionalidades basadas de visión por computadora para la identificación de usuarios y selección de productos. El sistema se ha diseñado como una plataforma para realizar estudios de experiencia de usuarios bajo diferentes escenarios que permiten comparar la aceptación de las funcionalidades mencionadas con respecto a las tecnologías de tipo táctil.

Se han propuesto perspectivas al sistema con el fin de hacerlo más adaptado a condiciones comerciales de operación.

9. Agradecimientos

Agradecemos a Víctor López y Jorge Lezcano de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales de la Universidad Tecnológica de Panamá, por los intercambios en torno a la arquitectura distribuida propuesta para el sistema.

Este trabajo es parcialmente financiado por el Sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá bajo el contrato No.124-2015 correspondiente al primer autor.

10. Referencias

[1] V. Gouaillier and A. Fleurant, "Intelligent video surveillance: Promises and challenges," Technological and commercial intelligence report, CRIM and Technôpole Defence and Security, pp. 456-468, 2009.

[2] H. K. Ekenel and B. Sankur, "Feature selection in the independent component subspace for face recognition,"

Pattern Recognition Letters, vol. 25, no. 12, pp. 1377-1388, 2004.

[3] A. K. Jain and A. Kumar, "Biometrics of next generation: An overview," Second Generation Biometrics, 2010.

[4] X. Wang, Q. Ruan, and Y. Ming, "3D Face recognition using Corresponding Point Direction Measure and depth local features," Signal Processing (ICSP), 2010 IEEE 10th International Conference on. IEEE, pp. 86-89, 2010.

[5] V. Zeljkovic, D. Zhang, V. Valev, Z. Zhang and J. Li, "Personal access control system using moving object detection and face recognition," High Performance Computing & Simulation (HPCS), 2014 International Conference on. IEEE, pp. 662-669, 2014.

[6] Q. Al-Shebani, P. Premarante, and P. Vial, "Embedded door access control systems based on face recognition: a survey," Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS), 2013 7th International Conference on , vol., no., pp.1,7, 16-18 Dec. 2013.

[7] J. Harguess and J. K. Aggarwal, "A case for the average-half-face in 2D and 3D for face recognition," Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2009. CVPR Workshops 2009. IEEE Computer Society Conference on. IEEE, pp. 7-12, 2009.

[8] F. Merchán, S. Galeano and H. Poveda, Mejoras en el Entrenamiento de Esquemas de Detección de Sonrisas basados en AdaBoost, Revista de I+D Tecnológico, Vol. 10, No.2, pp. 17-30, Dec. 2014.

[9] F. Zuo, and P. H. N. de With, "Real-time embedded face recognition for smart home," Consumer Electronics, IEEE Transactions on, vol. 51, no. 1 pp. 183-190, 2005.

[10] R. Meng, Z. Shengbing, L. Yi and Z. Meng, "CUDA-based real-time face recognition system," Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP), 2014 Fourth International Conference on. IEEE, pp. 237-241, 2014.

[11] S. Lin, "The study and implementation of real-time face recognition and tracking system," 2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vol. 6, pp. 3050-3055, 2010.

[12] M. Janarbek, A. Irturk, and R. Kastner, "Design and implementation of an fpga-based real-time face recognition system," Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM), 2011 IEEE 19th Annual International Symposium on. IEEE, pp. 97-100, 2011.

[13] S. Sardar, and K. Babu, "Hardware Implementation of Real-Time, High Performance, RCE-NN Based Face Recognition System," VLSI Design and 2014 13th International Conference on Embedded Systems, 2014 27th International Conference on, IEEE, pp. 174-179, 2014.

[14] World News Report, June 14, 2010, "Microsoft fully unveils kinect for xbox 360 controller-free game device" http://world.einnews.com/pr_news/56709028/microsoft-fully-unveils-kinect-for-xbox-360-controller-free-game-device

[15] H. Jalab and H. Omer, "Human computer interface using hand gesture recognition based on neural network," in Information

- Technology: Towards New Smart World (NSITNSW), 2015
5th National Symposium on , vol., no., pp.1-6, 17-19 Feb.
2015
- [16] J. Nagi, F. Ducatelle, G.A. Di Caro, D. Ciresan, and U. Meier, A. Giusti, F. Nagi and J. Schmidhuber and L.M. Gambardella, "Max-pooling convolutional neural networks for vision-based hand gesture recognition," in Signal and Image Processing Applications (ICSIPA), 2011 IEEE International Conference on , vol., no., pp.342-347, 16-18 Nov. 2011.
- [17] A. White, R. Godard, C. Belling, V. Kasza, R. L. Beach, Beverages obtained from soda fountain machines in the U.S. contain microorganisms, including coliform bacteria, International Journal of Food Microbiology, Volume 137, Issue 1, 31 January 2010
- [18] Barton, J. C., & Barton, N. J. (2004). U.S. Patent No. 6,688,134. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [19] C. Smolen (2013). U.S. Patent No. US 8417376 B1. U.S. Patent and Trademark Office
- [20] K. Panos, "Smart kegerator bills based on beer consumption", hackaday.com, March 11, 2014, <http://hackaday.com/2014/03/11/smart-kegerator-bills-based-on-beer-consumption/>
- [21] J. Ye, R. Janardan, Q. Li, "Two-Dimensional Linear Discriminant Analysis," Advances in neural information processing systems, pp. 1569-1576, 2004.
- [22] P. Belhumeur, J. Hespanha and David Kriegman, "Eigenfaces vs. fisherfaces: Recognition using class specific linear projection," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. 19, no. 7, pp. 711-720, 1997.
- [23] M. Turk, A. Pentland, Eigenfaces for Recognition, Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, 1991, pp. 71-86.
- [24] M. Poveda, F. Merchán, Implementación de un sistema de control de acceso basado en reconocimiento facial, Revista Prisma Tecnológico, ISSN 2076-8133, Vol. 6, No.1, 2015.
- [25] P. Viola and M. J. Jones, "Robust Real-Time Face Detection," International Journal of Computer Vision, vol. 57, no. 2, pp. 137-154, 2004.
- [26] P. Viola and M. J. Jones, "Fast Multi-view Face Detection," Mitsubishi Electric Research Laboratories, TR2003-096, vol. 3, pp. 14, 2003.
- [27] H. Li, Z. Lin, X. Shen, J. Brandt and G. Hua, "A convolutional neural network cascade for face detection," 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Boston, MA, 2015, pp. 5325-5334.

Estrategia de innovación de la arquitectura empresarial: una alternativa para la gestión de la trazabilidad del ganado vacuno en las PyMEs pecuarias de Panamá

Enterprise architecture innovation strategy: an alternative for the management of cattle traceability in the Panama SMEs

Luiyiana Pérez ^{1*}, Ramfis Miguelena ², Abdoulaye Diallo ³

¹Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá

²Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá

³Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Tecnológica de Panamá

¹luiyiana.perez@utp.ac.pa, ²ramfis.miguelena@utp.ac.pa, ³abdoulaye.diallo@utp.ac.pa

Resumen— La arquitectura empresarial (AE) es una de las piezas fundamentales para la Gestión Empresarial Moderna, es decir, es el conjunto de estrategias que definen la relación de alineación de procesos, recursos humanos, productos, servicios, tecnología y aplicaciones con el fin de alinearla con la estrategia operacional del negocio. La regulación de la trazabilidad en el país, representa un cambio necesario a nivel estratégico y operacional del sector pecuario; representa una tarea compleja el transformar los procesos rudimentario de las fincas ganadera, por ello es importante tomar decisiones que garanticen una satisfactoria evolución tecnológica y organizacional. La trazabilidad del ganado vacuno incorpora grandes retos al sector pecuario en su empeño de aumentar la productividad y la eficiencia, a partir del descubrimiento de conocimiento proveniente del análisis y procesamiento de la data. Esta investigación propone un modelo que guía la ejecución de proyectos para la definición de una estrategia innovadora de la AE y muestra los resultados de su diseño mediante framework más comunes. Con la finalidad de obtener una estrategia concreta y bien detallada para la implementación de una plataforma organizacional y tecnológica capaz de gestión la información de los procesos de la trazabilidad del ganado vacuno.

Palabras claves— arquitectura empresarial, marco de trabajo, proceso unificado de Software, red WiMax, trazabilidad bovina, brecha digital, datos enlazados.

Abstract— The business architecture (AE, in its Spanish acronym) is one of the fundamental pieces for the modern business management. It is the set of strategies that define the alignment relationship of processes, human resources, products, services, technology, and applications, in operational business strategy. The regulation of traceability in Panama represents a necessary change at the strategic and operational levels for the cattle-raising sector. Transforming rudimentary processes of the cattle ranches is a complex task. It is important to make decisions that ensure a satisfactory technological and organizational evolution. Cattle traceability presents great challenges to the cattle-raising sector. Knowledge coming from data analysis and processing can be used to increase productivity and efficiency. This research proposes a guide to innovative strategies according to the principles of AE. It also shows the results obtained through more common frameworks. The purpose of this research is to form a concrete and detailed strategy for the implementation of an organizational and technological platform, which is capable of managing information concerning the cattle-traceability processes.

Keywords— business architecture, framework, unified process of software, WiMax network, cattle traceability, digital gaps linked data.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 22 de febrero de 2017

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

Para el año 2000 se introduce la trazabilidad en Panamá, como una “herramienta básica para garantizar la seguridad alimentaria”, se crean leyes enfocadas a sancionar las malas prácticas en la producción de los alimentos [1]. En 2004 los Estados Unidos publican la Ley de Terrorismo Biológico, mediante la cual, se exige la trazabilidad en los puntos de comercialización de los alimentos [2].

Actualmente en Panamá, a través, del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), se está levantando la información para implementar el programa de trazabilidad pecuario, con el apoyo del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Este proceso tiene una proyección de 5 años, que inició en noviembre de 2015, con el registro de las fincas o los establecimientos, los proveedores y la identificación de los animales. Además se han capacitado a operadores externos, que se encargarán del levantamiento de los datos de campos en las fincas, y se están instalando gratuitamente los aretes de todo animal, para su identificación individual. Todo esto bajo la responsabilidad del MIDA, como lo establece la Ley N.º 104, del 22 de noviembre de 2013.

Gestionar la trazabilidad involucra un cambio complejo del negocio de las PyMEs pecuarias en Panamá, por tanto transformar los procesos, resulta ser una tarea ardua y con pocas probabilidades de éxito, si al tomar decisiones no se garantiza una satisfactoria alineación tecnológica y organizacional. Es por ello, que en esta investigación se introduce el concepto de Arquitectura Empresarial, que ha venido evolucionando en los últimos años, con la finalidad de hacer frente a dos problemas fundamentales, cuando se utiliza las TIC en la gestión de los negocios: la capacidad de gestionar la creciente complejidad tecnológica de los sistemas de información y el incremento en la dificultad de la generación de valor real por parte de los sistemas de información para las empresas.

En esta investigación, se ha desarrollado un modelo para guiar la ejecución de proyectos, la definición de una estrategias para la implementación de la AE en el sector, con el tema de la trazabilidad del ganado vacuno, y se establece la hoja de ruta, interrelacionando cada componente o artefacto del modelo, tales como: negocio, datos, aplicaciones, infraestructura tecnológica, y adecuándolo a la realidad del entorno.

Se trabajó en estrecha colaboración con los productores, con los encargados del programa de trazabilidad ganadera del MIDA, y con colaboradores

de la Asociación Nacional de Ganaderos (ANAGAN) e Instituto Panameño de Ganadería de Leche (IPAGAL), los cuales, son fuente de información primaria para esta investigación. Se ha realizado un recorrido por la región para determinar aspectos geográficos que ayuden a proponer tecnología de comunicación, analizando la accesibilidad y localización de las fincas.

Para el diseño del modelo, se ha realizado un estudio comparativo entre los diferentes marcos de trabajo de AE, se seleccionó y se reestructuró aportando marcos de uno y de otro para lograr un modelo conceptual que mejor se adapte al entorno de estudio, colocando en cada marco del modelo, las piezas necesarias para levantar la hoja de ruta.

El resultado obtenido es un modelo que establece una hoja de ruta con una variedad de proyectos, distribuido por arquitectura, y orientados a la creación de una plataforma organizacional y tecnológica que responda a los objetivos del negocio pecuario. El modelo ha sido validado, a través, de los expertos del sector pecuario y especialistas en TIC en la temática.

2. Antecedente

En el año 2007 Panamá firmó el acuerdo de libre comercio con los Estados Unidos, que entró en rigor el 12 de octubre de 2012, cuando el Congreso de Estados Unidos ratificó el TLC con Panamá. El gobierno panameño, con la finalidad de apoyar al desarrollo de un sector agropecuario, al servicio del productor y de la población, que procure competitividad y el mejoramiento del medio rural de forma sostenible y equitativa, promulgó el Proyecto de Ley 342, en el cual se enfatiza en su artículo N.º 1 la importancia de la trazabilidad para la cadena agroalimentaria de animales y sus productos, que en su tenor dice: “Se establece en el MIDA, el Programa Nacional de Trazabilidad o Rastreabilidad Pecuaria, en adelante denominado “EL PROGRAMA”, cuyo ámbito de aplicación es el territorio nacional y su implementación será de carácter gradual para todos los componentes a lo largo de las cadenas agroalimentarias de animales y sus productos, destinados al consumo nacional y/o a la exportación” [3], pero el proyecto fracasó, por la falta de una ley que realmente regulara la trazabilidad en el país. Después de varios intentos fallidos, en noviembre de 2013, el Gobierno panameño promulgó la ley N.º 104, que crea el Programa Nacional de Trazabilidad o Rastreabilidad Pecuaria. Desde entonces el MIDA realiza negociaciones con el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay para adecuar su

experiencia de trazabilidad bovina en Panamá. Actualmente Panamá establece relaciones con OIRSA, para adquirir el sistema automatizado de trazabilidad grupal e identificación individual, el cual está siendo ajustado a los requerimientos de Panamá.

Es importante definir el concepto PyMEs para el estudio, se refiere el productor con un total de 100 hectáreas y no más de 50 cabezas de ganado, cuyos ingresos son para satisfacer sus necesidades básicas.

Según entrevista realizada al Dr. Alexis Villarreal responsable del programa nacional de trazabilidad pecuaria en el MIDA, al Dr. Rolando Tello encargado del programa de difusión tecnológica en la Regional de Santiago, y al Ingeniero Joaquín Cedeño, jefe de ganadería de la Regional de Los Santos, el proyecto de trazabilidad que actualmente implementa el MIDA, no contempla lo indicado en esta propuesta de investigación, situación que lleva a proponer una arquitectura empresarial para el desarrollo del modelo.

Las razones para adoptar una iniciativa de AE vienen dadas por la necesidad de satisfacer cuatro metas fundamentales de cualquier organización [4]:

- Efectividad: Realizar las actividades correctas.
- Eficiencia: Crear más y más rápido con menos.
- Agilidad: Cambiar más rápido con menos.
- Durabilidad: Ser efectivo, eficiente y ágil en el futuro.

Es importante señalar que la AE no introduce estas metas, pero que sí provee los medios por los que efectiva y eficientemente se pueden alcanzar para hoy y el futuro [5].

El MIDA en miras de alcanzar un sector agropecuario competitivo y sostenible, ha creado programas de ayuda económica y capacitación para brindarles a los pequeños y medianos productores mejores técnicas de producción, tal es el caso del programa de difusión tecnológica, cuyo objetivo es ofrecer a los productores alternativas, como la adaptación de tecnologías sencillas para mejorar los indicadores de productividad, garantizando a los animales comida y agua todo el año, sin dejar de conservar los recursos naturales.

El programa señala que la selección de las fincas para el programa de difusión tecnológica será de dos (2) por agencias, donde ellas serán modelo para la inclusión de otras fincas contiguas, convirtiéndose estas últimas en fincas satélites, que igualmente formarán parte del programa de difusión tecnológica.

En la provincia de Los Santos existen más de 2,000 fincas clasificadas como PyMEs, y es la región del país

en donde se encuentran la mayor parte de ellas. En este proyecto de investigación, solo se ha considerado las fincas pertenecientes al programa de difusión tecnológica, debido a que son productores sensibilizados dispuestos al cambio para mejorar su negocio.

3. Materiales y métodos

La investigación se clasifica como experimental aplicada, porque se caracteriza por generar conocimientos o métodos dirigido al sector productivo, con el fin de mejorarlo y hacerlo más eficiente, incluye la manipulación de variables, el control de los procedimientos y el muestreo aleatorio y sistemático para la descripción, explicación y predicción de los conocimientos que se adquieren.

3.1 Métodos de recolección de datos

Para esta investigación se han realizados varias actividades de recolección de datos como: entrevistas, cuestionario y observación. El cuestionario diseñado para calcular el nivel del índice de la brecha digital (IBD) en el sector ganadero de la provincia de Los Santos, fue basado en los indicadores del cálculo de Índice de Acceso Digital (IAD) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), definidas en la tabla 1, con un total de 20 preguntas, las cuales fueron aplicadas a los productores seleccionados en la muestra.



Figura 1. Aplicación del cuestionario a los productores, durante una jornada de capacitación ofrecida por el MIDA.



Figura 2. Entrevista con el Dr. Rolando Tello, Programa de Difusión Tecnológica y el Doctor Alexis Villarreal, Programa Nacional de Trazabilidad Bovina. Fuente propia.

En la figura 2 se referencian las entrevistas realizadas al encargado del programa de trazabilidad, doctores veterinarios del departamento de salud animal, y con el ingenieros agropecuarios encargados del programa de difusión tecnológica.

Con la aplicación del cuestionario y el análisis de los resultados se logró calcular el índice de la brecha digital en el sector ganadero de la provincia de Los Santos; con las entrevista se recolecta información relevante de los programas de difusión tecnológica y el programa de trazabilidad bovina; se realizaron visitas a las fincas pecuarias y a ferias ganaderas para conocer su actividades operativas, utilizando las técnicas de la observación y el conversatorio, como se observa en la figura 3; se ha fortalecido con revisión bibliográfica científica sobre el tema, durante el levantamiento de la arquitectura de negocio.



Figura 3. Feria ganadera, registro de peso y palpación, y visitas a productores. Fuente propia.

3.2 Selección de la muestra

Se obtuvo una muestra de 44 productores clasificados como PyMEs, de un total de 50 perteneciente al programa de difusión tecnológica de la regional de Los Santos, con un margen de error del 5% y un nivel de confianza de 95%, se utilizó la ecuación 1, para el cálculo del muestreo proporcional estratificado.

$$n = \frac{z_a^2 \times p \times q}{e^2} \Rightarrow ne_i = \frac{n_i}{N} \times n \quad (1)$$

En donde:

z = es la desviación del valor medio que se acepta para lograr el nivel de confianza deseado, 95%.

p = es la proporción estimada de la población que cumple con la característica deseada (pertenecen al programa de difusión tecnológica).

e = es el margen de error aceptado, 5%.

n = tamaño de la muestra para toda la población, 44 productores.

$q = 1-p$.

ne_i = tamaño de la muestra para el estrato i .

n_i = población de cada estrato.

N = total de la población, 50 productores.

3.3 Población

La selección de los productores del sector pecuario, para este trabajo de investigación, se debe a su escaso desarrollado, en lo que respecta a la utilización de las tecnologías de información y comunicación (TIC) para la gestión de la información, desde la finca hasta la trazabilidad individual de la industria. Esto representa una situación de negocio complejo, que plantea requerimientos de cambio al mejor costo y efectividad posible. Por lo tanto, la principal razón para desarrollar una AE de TIC en el sector pecuario es alinear las tecnologías de la información y comunicaciones a los procesos claves del gobierno panameño y a los objetivos estratégicos de las PyMEs, lo que hace que las TIC sean un activo capaz de respaldar y responder a la estrategia del país con información más oportuna para la toma de decisiones.

3.4 Ecuaciones para el cálculo de la brecha digital

A continuación se presenta la ecuación para el cálculo del índice de acceso digital (IAD). Cada categoría o componente tiene su propia ecuación, las cuales se presentan en la tabla 1. [6].

$$IAD = [(SA \times W1) + (SU \times W2) + (SC \times W3) + (SE \times W4)] \quad (2)$$

Donde:

$W1$: 0,40 representando el ponderado para el componente de acceso.

$W234$ = 0,20 representando el ponderado para el resto de los componentes.

El índice de la brecha digital (IBD) se estimaría a través del cálculo del IAD con la siguiente ecuación:

$$IBD = 10 - IAD \quad (3)$$

3.5 Definición del problema

Después de un análisis de datos, la revisión bibliográfica, encuestas y entrevistas aplicadas se detectó que las PyMEs productoras de ganado vacuno tienen un bajo nivel de gestión de la información del negocio, debido principalmente a su poco interés por la información, su baja valorización de la misma, su pobre desarrollo empresarial, y la desarticulación de las estrategias del negocio con las estrategias en TIC del gobierno panameño, situación que limita dar seguimiento a las actividades diarias de campo, como:

los niveles de producción y la rentabilidad alcanzados. Por otro lado no se cuenta con políticas de desarrollo a corto, mediano y a largo plazo, que promuevan su crecimiento empresarial, el cual, se ve afectado por los cambios en las políticas de gobierno y por los niveles de culturalización empresarial que adolecen por los bajos niveles de educación, trayendo como consecuencia desventajas competitivas de las PyMEs pecuaria en Panamá.

La trazabilidad individual a campo requiere que las

PyMEs incorporen cambios en la forma de realizar sus procesos, y para ello, las TIC son de gran relevancia.

Esto sustenta la necesidad de desarrollar un modelo tecnológico de trazabilidad basado en la metodología de arquitectura empresarial, en donde se establezca un método de ordenamiento que integre las diferentes arquitecturas como: infraestructura, aplicación, datos y negocio, referenciando las estrategias del gobierno en materia de TIC, a través del MIDA, y los sistemas existentes de trazabilidad bovina.

Tabla 1. Ecuaciones del subíndice de cada categoría para el cálculo del índice de acceso digital [6]

Categoría	Variables	Valores de Panamá	Valor de Ref.	Indicador	Ponderado	Índice de la categoría
Acceso	Números de líneas de telefonía fija por cada 100 productores	A	60	a/60	1/5	$(a/60)*(1/5)$
	Número de líneas de telefonía móvil por cada 100 productores	B	170	b/170	1/5	$(b/170)*(1/5)$
	Números de cuentas a Internet por cada 100 productores	C	80	c/80	1/5	$(c/80)*(1/5)$
	Números de viviendas o fincas con acceso a computadora por cada 100 productores.	D	100	d/100	1/5	$(d/100)*(1/5)$
	Números de viviendas o fincas con acceso a Internet por cada 100 viviendas o fincas de productores	E	100	e/100	1/5	$(e/100)*(1/5)$
Sub- Índice de Acceso				WSA=	2/5	SA
Uso	Números de usuarios a Internet por cada 100 productores	g	100	g/100	$\frac{1}{2}$	$(g/100)*(1/2)$
	Número de usuarios de computadora por cada 100 productores	h	100	h/100	$\frac{1}{2}$	$(h/100)*(1/2)$
Sub- Índice de Uso				WSU=	1/5	SU
Calidad	Ancho de banda internacional de Internet (Bit's por productor)	h	100.000	f/100.000	$\frac{1}{4}$	$(f/100.000) * (1/4)$
	Números de llamadas exitosas de telefonía móvil por cada 100 llamadas realizadas por los productores	i	100	i/100	$\frac{1}{4}$	$(i/100)*(1/4)$
	Números de llamadas exitosas de telefonía fija por cada 100 llamadas realizadas por los productores	j		j/100	$\frac{1}{4}$	$(j/100)*(1/4)$
	Grado de satisfacción de los productores con los servicios de telecomunicaciones	k	80	k/80	$\frac{1}{4}$	$(k/80)*(1/4)$
Sub- Índice de Calidad				WSC=	1/5	SC
Educación	Números de productores con alfabetización digital	l	100	l/100	1/3	$(l/100)*(1/3)$
	Números de productores con escolaridad en educación primaria	m	100	m/100	1/3	$(m/100)*(1/3)$
	Números de productores con escolaridad en educación secundaria	n	100	n/100	1/3	$(n/100)*(1/3)$
Sub- Índice de Educación				WSE=	1/5	SE

3.6 Variables

La definición de las variables han sido agrupadas por las diferentes arquitecturas que forman el modelo, clasificadas en dos grandes grupos: la arquitectura del negocio pecuario y la arquitectura en tecnología de información y comunicación, aunado a ello están las variables propias del proceso de trazabilidad vacuna, considerando la trazabilidad grupal, la trazabilidad individual y la trazabilidad de proceso.

3.7 Estudio comparativo marcos de trabajo

Después de recoger la información y requerimientos necesarios para el análisis de la información sobre la trazabilidad bovina, se procedió a la selección de la metodología de AE a utilizar, para ello, se ha realizado un estudio comparativo de las metodologías más populares, seleccionado aspectos sobresalientes de cada una, estas metodologías fueron: Zachman, TOGAF y FEAF. La metodología TOGAF nos proporciona un modelo por bloque, donde cada bloque represente otro modelo; Zachman ayuda a analizar que se necesita, cómo funcionará, dónde se localiza, quiénes son los responsables, en cuanto tiempo y porqué se necesita; FEAF en cambio orienta a evaluar la eficacia y la madurez del modelo, desglosando paso a paso cada proyecto identificado.

Una vez realizado el estudio comparativo de las tres metodologías de AE de acuerdo a cinco indicadores como: Taxonomía, proceso de integridad, guía de referencia, orientación práctica y madurez del modelo; se consideraron las tres metodologías. En la figura 5 se presenta el modelo conceptual.

4. Resultados y discusión

El resultado de esta investigación ha sido el diseño del modelo, en el cual se plasma las diferentes arquitecturas, teniendo como línea base el IBD en el sector. El muestreo estratificado proporcional, de acuerdo a la ecuación para los siete distritos pertenecientes a la provincia de Los Santos fue el siguiente:

Tabla 2. Resultado del muestreo estratificado

No.	Distrito	Productores	Proporción	Muestra
1	Las Tablas	8	16%	7
2	Guararé	6	12%	5
3	Pedasi	2	4%	2
4	Pocri	5	10%	4
5	Tonosí	8	16%	7
6	Los Santos	13	13%	11

7	Macaracas	8	16%	7
Total			100%	44

4.1 Resultado de la brecha digital

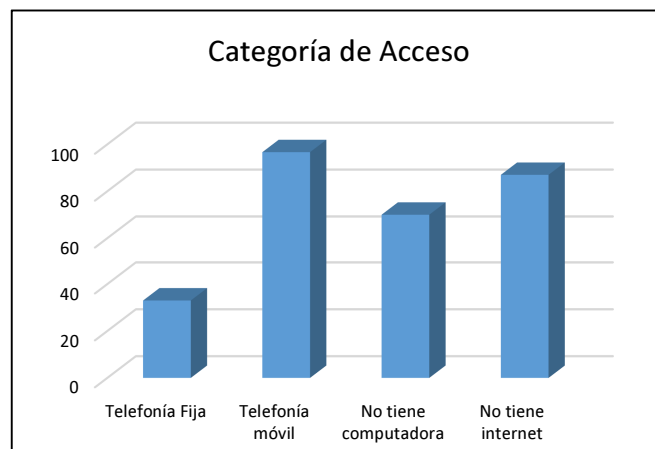
Los resultados obtenidos en las categorías del IAD, a través del cuestionario aplicado a los productores de la muestra, permitieron calcular los subíndices de cada categoría, cuyo detalle han sido enviados para su publicación en el congreso internacionales LACCEI 2007.

$$IAD = 0.41 + 0.27 + 0.65 + 0.64$$

$$D = 0.475 * 10 = 4.8$$

$$IBD = 10 - 4.8 = 5.2$$

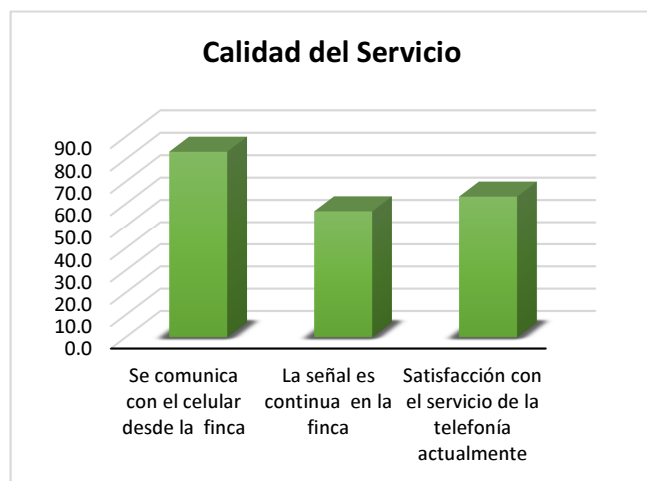
Los valores obtenidos indican que el IAD en el sector pecuario es medio bajo y el IBD es media alta de acuerdo al criterio de la UIT, en la gráfica 1 se muestra que los productores tienen acceso a las tecnologías de información y comunicación, pero el uso que le dan no es el más óptimo, se tiene que seguir trabajando para disminuir esa brecha digital, siendo este proyecto una alternativa para ello. Partiendo de esos resultados y de su análisis, se pudo proponer un modelo adecuado a la necesidad de las PyMEs pecuarias, ya que no consiste solo de implementar tecnología, sino se garantizar su uso.



Gráfica 1. Resultado de la categoría de Acceso. Fuente propia.

Los resultados reflejan que un 97% de los productores cuentan con telefonía móvil, pero en cambio un 70% no tiene computadora y un 87% no tiene internet. Esto indica que los productores ven a la telefonía como medio de comunicación por voz

solamente, limitando su uso en otras formas de transmisión de la información.



Gráfica 2. Resultado de la categoría de Calidad. Fuente propia.

En la gráfica 2 se presenta los resultados de la categoría de calidad del servicio, el 63% de los productores se siente satisfecho, un 83% indicó que se podían comunicar con el dispositivo móvil desde la finca y un 57% manifestó que la señal es continua, es decir no se cae.

El 83% de los productores que se comunican con celular, nos aseveran que la solución que se proponga debe considerar las aplicaciones Apps, en la arquitectura de TIC.

Los resultados obtenidos durante este estudio y el análisis de datos de los procedimientos de la trazabilidad vacuna, ayudó a identificar los componentes de cada bloque en el modelo, como estrategia de innovación empresarial del sector pecuario.

4.2 Identificación del marco de trabajo

Con el estudio de las metodologías de AE se logra esquematizar el modelo conceptual de la investigación tomando de base el marco de trabajo TOGAF. Los bloques identificados para el modelo conceptual se presentan en la figura 5.

Importante resaltar que para la esquematización del modelo conceptual se aplicaron: análisis lógico para el levantamiento de cada marco de trabajo con sus componentes, técnicas de ingeniería de *software* (entrada- salida de datos), análisis de la situación actual de la infraestructura de comunicación e internet, como

resultado del cuestionario aplicado, y la organización del negocio pecuario de la región.

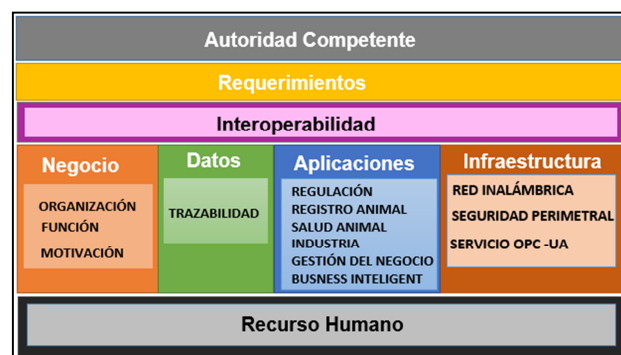


Figura 5. AE del modelo propuesto. Fuente propia.

A diferencias de otras metodologías de AE estudiadas, se ha colocado de forma explícita el bloque de interoperabilidad, por considerar que el modelo debe poder extenderse a la cadena de suministro, y así evitar, los grandes desafío en que se encuentran los CIO (Chief Information officer) al momento de integrar las aplicaciones hechas por una organización de forma independiente; otro marco de trabajo considerado es el bloque de recursos humanos, que en otras metodologías está considerado en la arquitectura de negocio, para este caso, se tiene por separado, porque en primera instancia, las PyMEs pecuaria de la región no cuenta con una organización como tal, y por otra parte, no existe una estructuración que indique cuales son las características de los productores ideales para aumentar los índices de productividad, esto nos lleva a proponer estudios más exhaustivo como el algoritmos genético, apoyado con un programa de capacitación continuo en el uso y manejo de las TICs.

4.3 Estrategia de innovación empresarial del sector pecuario

A continuación se describe la estrategia de innovación propuesta.

4.3.1 Situación actual de las PyMEs, pecuarias en Panamá, provincia de Los Santos

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, el MIDA cuenta con el Programa de Difusión Tecnológica, para sensibilizar a los productores pecuarios, sobre nuevos modelos y técnicas de producción, en coordinación con instituciones como: IPAGAL, ANGAN, IDIAP, etc. Se tiene la Ley 104 que regula el proceso de trazabilidad y rastreabilidad

pecuarias en el país, una estabilidad económica en el país, aunque un sector agropecuario con ingresos económicos solo para la subsistencia.

Se cuenta con un programa de trazabilidad que está implementando el MIDA, el cual deja a un lado el involucramiento directo de las fincas pecuaria, se están considerando operadores externo para el levantamiento de los datos, por otro lado se tiene una población pecuaria desinformada sobre los procesos de la trazabilidad y las consecuencias, de no formar parte de ella para mantener la competitividad en los mercados nacionales e internacionales, se está trabajando de forma aislada, sin considerar la gestión del negocio como tal. Se está implementando un sistema sin considerar la capacitación en el manejo y uso de las TIC por los usuarios directos.

4.3.2 Estado deseado de la AE

Sobre la base de lo actual descrito, se proyecta un estado deseado de AE abarcando las dimensiones de propuestas en la figura 5 que puede resumirse de la siguiente manera:

Cuando se trata de seguridad alimentaria, en cualquier país debe existir una autoridad competente que regule y ejecute los controles pertinentes, es por eso de la existencia de este componente en el modelo, los requerimientos son importantes para implementar el modelo, ya que la trazabilidad animal no es una actividad individual, sino de equipo, de empresas, de instituciones, de países, etc. que se entrelazan para un solo fin, “la seguridad alimentaria”. Por eso es importante que las PyMEs pecuarias aporten la información necesaria para que las empresas alimentarias del país puedan responder a los requisitos que plantea la Norma Internacional ISO 22000:2005, que certifica la inocuidad de los alimentos en la cadena, desde las fincas (materia prima) hasta el producto final, y así poder cumplir con los protocolos de los mercados internacionales, como BRC (British Retail Consortium), dirigido a empresas suministradoras de productos alimentarios [7], tal es el caso de estudio de esta proyecto de investigación.

Es de suma relevancia conocer el Índice la Brecha Digital, con tal de sugerir alternativa para minimizar riesgos y garantizar la usabilidad de cualquiera inversión tecnológica para la gestión de la información, al igual, ayuda proponer la infraestructura tecnológica que más se adecue al sector en estudio.

Se requiere que las PYME's pecuarias tengan definidos sus procesos, el personal que interviene y el

encadenamiento que genera los productos: bienes o servicios. La apropiada interacción de proceso, personal y producto, definir un sistema de calidad, caracterizado por su dinamismo y orientación a la mejora continua.

La principal fuente de entrada del proceso del modelo son las fincas y los animales identificados, que darán origen a la arquitectura de datos del modelo, cuyas funciones y necesidades redundan en el desarrollo de una infinidad de aplicaciones, alimentadas con una variedad de datos, que corren o se ejecutan a través de una tecnológica de comunicaciones.

La información es clave para lograr una ventaja competitiva en el entorno de la gestión pecuaria, con el tema de la trazabilidad; información que puede ser interna y/o externa.

La información interna para el modelo corresponde a los datos de la finca, propietarios, animales: generales del animal, registros sanitario, registro de alimentación, registro de inseminaciones o monta natural, registros de nacimientos y destete, registro de la producción de leche por vaca, inventario de los animales, costo de producción. Esta información para un negocio se puede convertir en información externa para otro negocio.

La información externa comprende la ejecución de un proceso sistemático para la adquisición, análisis y evaluación de datos, de las características de los involucrados (clientes, proveedores, competidores, aliados, comunidad) y características del ambiente en el que operan (políticas, económicas, sociales, tecnologías), por ejemplo, para el modelo la información externa es: las guías de movilidad entre fincas, ferias, mataderos, registros de los laboratorios de salud animal, el registro de los establecimientos y la identificación de los animales con dispositivos electrónicos.

Se ha considerado la tecnología WiMAX para llevar el internet a las fincas pecuarias, después de un estudio bibliográfico y geográfico de la zona de estudio, se encontró que el 53% de las fincas encuestadas de la provincia de Los Santos, están ubicadas en áreas poco pobladas y resultaría una inversión con escaso retorno para los actuales operadores de comunicación.

En la arquitectura en infraestructura se propone la seguridad perimetral Screened Subnet, utilizando dos *firewall* uno externo y un proxy para asegurar la red LAN donde se encuentran los servidores de aplicaciones y la base de datos. El proxy controla el acceso desde el exterior (internet) como desde la DMZ (Zona desmilitarizada) hacia la red local.

Se ha incluido el bloque de interoperabilidad para plasmar desde un principio, que todo lo que se vaya a realizar en la arquitectura de TI como: datos, aplicaciones e infraestructura, deben estar integradas para su crecimiento en el futuro, sobre todo cuando se trata de la seguridad alimentaria, es evidente que se habla de la cadena de suministro y por ende de una variedad de empresas y procesos entrelazados y dependientes uno de otros.

Como se ha mencionado en párrafos anteriores las PyMEs pecuarias en la región de Los Santos, generalmente no cuenta con estructura organizativa, ni con suficiente capital para invertir en TIC, además no ven su empresa como un negocio, sino como un ingreso para su subsistencia. Por tal razón se ha considerado en el modelo un proceso de capacitación a los productores.

En el modelo se han considerado los dispositivos PLC (Lógica de Control Programable en español) porque han tomado un uso considerado en la industrial en general, por su aplicación en procesos de fabricaciones industriales de cualquier tipo de transformaciones, como de instalaciones, en el caso de estudio, la industria alimentaria es utilizado para los procesos de envasado, empaquetado, embotellado, almacenaje, llenado en botella, etc. caso particular de los productos lácteos y el empaquetado de carne. Motivo por el cual se ha considerado el servidor con el *software* SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition- Adquisición de datos y supervisión de control), diseñado para que se comunique con los dispositivos de campo (PLC). En la figura 6 se muestra el modelo operativo o hoja de ruta, como resultado de este trabajo de investigación.

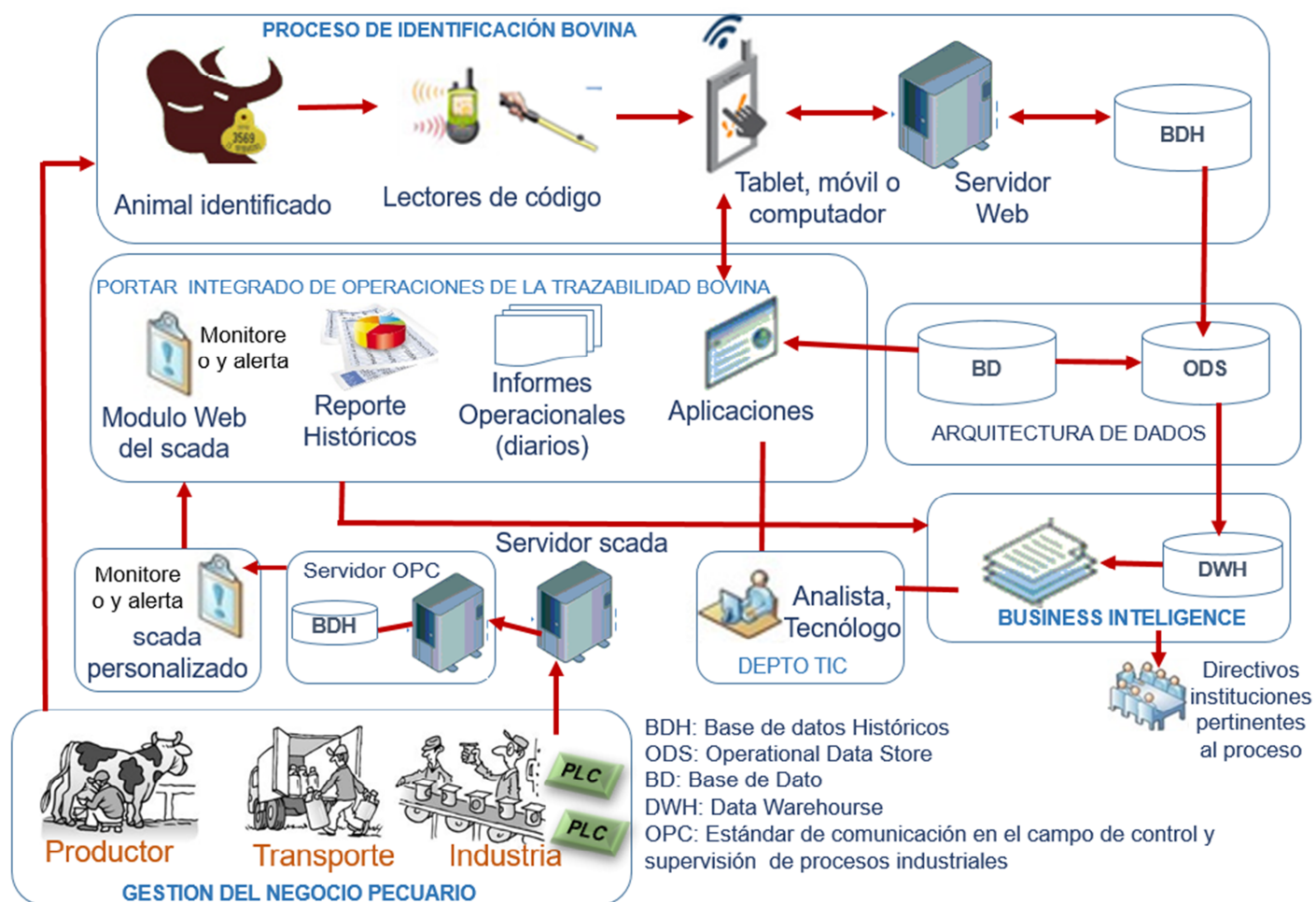


Figura 6. Vista general del modelo con las arquitecturas de TI. Fuente propia.

4.3.3 Hoja de ruta

Se obtuvo una hoja de ruta con más de diez (10) proyectos a lo largo de la implementación del modelo, orientados a la creación de una plataforma organizacional y tecnológica que respondan a los objetivos del negocio pecuario, por su naturaleza, algunos de estos proyectos deberán ser ejecutados por el MIDA, otros, se recomienda contratar organizaciones que brinden productos y servicios de *software* y comunicaciones, y otro como continuidad de estudio postdoctoral.

5. Conclusiones

La AE es una metodología de mejora continua a mediano plazo, con una visión integral que permite mantener actualizada la estructura de información organizacional, alineando proceso, datos, información e infraestructura tecnológica en cuatro dimensiones: negocio, datos/información, aplicaciones y tecnología.

La adopción de un modelo de AE, unido a mejores prácticas, es una herramienta necesaria para que las empresas pecuarias en Los Santos, Panamá, puedan afrontar los desafíos que se les representan, el poder gestionar con agilidad, eficiencia e integridad sus procesos operativos. Para ello en el modelo se propone una variedad de proyectos clasificados por bloques o marcos de trabajo correspondiente a cada arquitectura, con el objetivo de gestionar el proceso de la trazabilidad del ganado vacuno, es decir, que se permita encontrar y seguir el rastro, a través de todas las etapas de producción, transformación y distribución, de un animal destinado a la producción de alimentos, por tal razón el modelo cuenta con el marco de interoperabilidad, analizando de forma conjunta cada uno de los otros marcos tales como: datos, aplicación e infraestructura. A continuación se detallan los componentes considerados en cada marco, que permitirán de una u otra forma, mantener la interoperabilidad en el tiempo y frontera: para la arquitectura de datos se ha considerado la semántica, directrices internacionales emitido por la Organización Internacional de Sanidad Animal (OIE), a través de los capítulos 4.1 y 4.2 del código de identificación y trazabilidad de animales vivos, y estándares de los datos, así como la Norma ISO 22000:2005, la cual especifica los requisitos para un sistema de gestión de inocuidad de los alimentos a lo largo de toda la cadena; se ha realizado el análisis de aquellos datos que pueden ser compartidos entre los involucrados de la cadena de suministro, para que puedan ser accedidos, a través de la Web semántica, no

se trata de base de datos relacional, sino de grafos dirigidos o Linked Data (datos enlazados).

La interoperabilidad de las aplicaciones es otro componente importante en este marco, para ello se ha contemplado: la accesibilidad, las aplicaciones deben tener un acceso universal, independientemente del tipo de *hardware*, *software*, infraestructura de red, cultura, localización geográfica, idioma, por eso las aplicaciones deben ser desarrolladas con procesos unificados de *software*, a través de la web, como lo plantea el Lenguaje Modelado Unificado (Unified Modeling Language- UML), y capacidades de los usuarios, conocida como accesibilidad web o Web Accessibility Initiative (WAI), por tal razón, durante el desarrollo de las aplicaciones se deben utilizar las 14 pautas de Accesibilidad al contenido en la Web (WCAG), cuya función es guiar el diseño tradicional a un diseño accesible, reduciendo de esta forma barreras en la información.

Para la interoperabilidad del marco de infraestructura es transcendental tener en cuenta las interfaces de interoperabilidad incluida en el SAP (Service Access Point AP), y las interfaces propias de la red WiMAX como: I-SAAP / IMSSAP, entre terminales de usuarios y puntos de accesos (interfaces “aire”) para la materialización del acceso, a través de ello se intercambian las señales de control y los datos de usuario; I-CN1 /I-CN2, la primera interfaz se encarga del intercambio de mensajes de datos y control de gestión con el núcleo de red CN; I-RNSN: es la interfaz de comunicación entre los nodos servidores de radio. Funciones de movilidad entre las redes de radio administrada por cada nodo y I-RNSNAP: permite la comunicación entre los AP de una misma red de acceso para funciones de aviso y traspaso que sustentan la movilidad de terminales conectadas a AP diferentes, perteneciente a la misma sub-red y a sub-redes distintas.

6. Agradecimientos

Se agradece al Dr. Alexis Villarreal, Director del Programa de Trazabilidad Vacuna a nivel nacional, por su colaboración en el proyecto, a los colaboradores del Ministerio de Desarrollo Agropecuarios de la regional de Los Santos por la información proporcionada y la validación del modelo y a los productores ganaderos por permitirnos realizar el estudio de su negocio.

El presente trabajo de investigación fue desarrollado durante el programa Doctoral de Ingeniería de Proyecto de la Universidad Tecnológica de Panamá, periodo 2013-2016. Uno de los proyectos generados del modelo

ha sido seleccionado para su financiamiento por SENACYT en la categoría de Innovación en el Sector Agropecuarios – 2017.

7. Referencias

- [1] P, Luiyiana. M, Ramfís, y D, Abdoulaye, (2013 Julio). “Modelo Agro-Tecnológico de Trazabilidad para la Pequeñas y Medianas Empresas en Panamá”, LACCEI 2013 - Cancún, México, [Online] ISBN-10 978-0-9822896-6-2, ISBN-13 0-9822896-6-9. <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP035.pdf>.
- [2] National Coffee Association of U.S.A., INC (2004), “Disposiciones de los EE UU contra el terrorismo biológico”.
- [3] Aparicio, H., (2011), “Proyecto Ley 342”, 1er debate [Online]: www.trazabilidadpanama.org/Docs/ProyectedeLey342primerDebate.pdf
- [4] PRAGMATIC EA (2010), Product: Foundation: Vision, Versión 2.0, Singapur, Pragmatic EA Ltd, 2010.
- [5] P, Luiyiana, M Ramfís y D. Abdoulaye, 2015 “Metodología para el cálculo del Índice de la Brecha Digital en las PYME's del Sector Agropecuario en Panamá” LACCEI -2015, Santo Domingo, República Dominicana. ISBN-13 978-0-9822896-8-6. [Online] <http://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/RefereedPapers/RP079.pdf>
- [6] Instituto de Formación Integral. Antonio Limón, (2006). “Guía para la aplicación de la Norma UNE-EN-ISO 22000”. [Online] <http://www.eurocarne.com/pdf/informes/iso22000.pdf>
- [7] Llerena R. (2014). “Definición de una estrategia de transición de la arquitectura empresarial en un entorno industrial-biotecnológico”, Revista Cubana de Ciencias Informáticas Vol. 9. No.3, ISSN:2227-1899 RNPS:2301, pag 1-17.
- [8] F. López, 2009. “Red de Acceso de Banda Ancha mediante WiMAX en zonas rurales y costeras”, Depto de Ing. Informática, Universidad Autónoma de Madrid.
- [9] A. Hildargo. 2005 “WIMAX interoperabilidad mundial por acceso inalámbrico”, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Trabajo de Tesis.
- [10] J. Zachman, (1987) A Framework for Information Systems Architecture, the IBM Systems Journal vol. 26, no. 3, pp. 454-470, 1987.
- [11] M. Mendieta, 2014 Propuesta de Framework de Arquitectura Empresarial para PYMES basado en un Análisis de los Frameworks de Zachman y TOGAF, 2014 Cuenca, Ecuador, Tesis.
- [12] The Open Group, Arquitectura Empresarial, 2010, [Online] <https://arquitecturaempresarialcali.wordpress.com/ea-frameworks/togaf/>
- [13] Arango M. D., Londoño J. E. Londoño, Zapata J. A. Zapata, 2010. Arquitectura Empresarial – una Visión General, Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
- [14] M Vinicio(2011), Plan de Proyecto para la Elaboración de un Sistema Piloto de Trazabilidad Bovina en Costa Rica, Universidad para la Cooperación Internacional (UCI), 2011.
- [15] Secretaria General Iberoamericana, 2010, “Buenas Prácticas en Gestión Ganadera Contexto y Vectores que lo propician”, Editorial AHCET, España, Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación.
- [16] Enríquez, Álvaro M. (2010). “El móvil como instrumento para la inclusión financiera”, Revista TELOS, Una sociedad de movilidad, Editada por Fundación Telefónica - Gran Vía, 28 - 28013 Madrid.
- [17] Guillén T. G., Grupo IFEDES S.A. (2007), “Las TIC en la estrategia empresarial”, Anetcom, V-3094. [Online] http://lcm.csa.iisc.ernet.in/scm/supply_chain_intro.html <http://www.fayerwayer.com/2012/01/el-origen-de-el-computo-en-la-nube/>
- [18] García, E. P., (2005), “Introducción a la Norma ISO 22000-Sistema de Gestión de Seguridad Alimentaria, ISO 22000 Productor Manager SGS ICS Ibérica, 2005.

Building a magnetic declination maps and its anomalies for the Isthmus of Panama during 2010 to 2014

Construyendo mapas de declinación magnéticas y sus anomalías para el Istmo de Panamá desde el 2010 hasta el 2014

Freddy González ¹, Alexis Mojica ^{2*}

¹Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

Apartado 0819-07289 El Dorado, Panamá Provincia de Panamá, República de Panamá, ²Laboratorio de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá

Apartado 0819-07289 El Dorado, Panamá Provincia de Panamá, República de Panamá

¹freddygonzalez.pa@gmail.com, ²alexis.mojica@utp.ac.pa

Resumen– El objetivo de este trabajo se focaliza en presentar una actualización del mapa de declinación magnética del istmo de Panamá para un lapso temporal comprendido entre los años 2010 a 2014. Para tal propósito se utilizó el modelo IGRF-11 de la International Association of Geomagnetism and Aeronomy, cuya revisión se lleva cabo cada cinco años. Este modelo toma en consideración el constante cambio que experimenta el campo magnético terrestre y su influencia en la declinación magnética; estos elementos son de vital importancia para la determinación de la dinámica, y por ende la actualización de los niveles de exactitud de la cartografía que posteriormente pueda servir de soporte a sistemas de navegación aéreo o marítimo y a la determinación del Geoide. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la declinación magnética experimenta un desplazamiento hacia el sector occidental del istmo de Panamá.

Palabras claves– Campo de referencia geomagnética, carta magnética, declinación magnética, modelo IGRF-11, Panamá.

Abstract– This work presents an updated magnetic declination map of the Isthmus of Panama for the years 2010 to 2014 based on the IGRF-11 model from the International Association of Geomagnetism and Aeronomy. This model takes into account changes in the Earth's magnetic field and its influence on the magnetic declination. These elements are important for determining accurate mapping which may be used to support systems of sea or air navigation. The results obtained show that the magnetic declination lines in Panama have shifted westwardly during these years.

Keywords– Reference geomagnetic field, magnetic map, magnetic declination, IGRF-11 model, Panama.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 26 de abril de 2016

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introduction

At any particular point on the surface of our planet, the geomagnetic field and its scalar potential can be expressed in spherical polar coordinates (r, θ, ζ) where r is the distance from the center of our planet, θ is the colatitude and ζ the longitude. This scalar potential can be given by:

$$\Phi(r, \theta, \zeta, t) = R \sum_{n=1}^{n_{\max}} \left(\Lambda_n r^n + \frac{\Theta_n}{r^{n+1}} \right) \sum_{k=0}^{k=n} \mathfrak{S}_n^k(\theta, \zeta) \quad (1)$$

Here R denotes the Earth's radius. The term Λ_n represents part of the potential linked to the magnetic

field sources outside the Earth and Θ_n is associated to the internal magnetic sources. In this equation $\mathfrak{S}_n(\theta, \zeta)$ is the spherical harmonic function and describes the changes or variations of the magnetic potential when the distance r is constant.

The summation signs show that the total potential is made up of an infinity number of terms with different values of n and k [1].

To understand the geomagnetic field caused by internal sources of Earth, we need to omit the term Λ_n of equation (1); according to [1], the spherical harmonic

functions $\mathfrak{N}_n(\theta, \zeta)$ (linked to the variation of potential on a spherical surface) are expressed in some polynomial functions that depend on time. Equation (1) can be represented by:

$$\Phi(r, \theta, \zeta, t) = R \sum_{n=1}^{n_{\max}} \left(\frac{R}{r} \right)^{n+1} \sum_{k=0}^{k=n} \left[\kappa_n^k(t) \cos(k\zeta) + \tau_n^k(t) \sin(k\zeta) \right] \Gamma_n^k \cos(\theta) \quad (2)$$

In the equation (2), $\kappa_n(t)$ and $\tau_n(t)$ are the numerical Gauss coefficients at time t and $\Gamma_n \cos(\theta)$ are the Schmidt semi-normalized associated Lagrange functions of degree n and order k [2, 3].

This means that at any particular point on the Earth the geomagnetic field presents variations in time. In decades or centuries of observations these variations are significant and they are called secular variations [1]; this means that magnetic North does not always coincide in location with the real geographic North (the Earth's rotational axis); the horizontal angle between these elements is known as magnetic declination. If there are secular variations, the magnetic declination values can change. According to [4, 5] this parameter is important for all map users because the cartography of magnetic anomalies as a basic component to define the geoid in geodesy.

The need to calculate the magnetic declination lies in the annual variations of this angle which affects air and maritime navigation systems for global positioning and mapping works done with compass system. In addition the study of magnetic declination is one of the important components of the national magnetic map necessary for the study of magnetism and its applications in Geodesy and Geophysics for searching of a geoid model for Panama.

There are two methods that are used to map the magnetic declination: by field observations with magnetometers and by geomagnetic models [5-13]. Today two models are used: (a) the WMM model (World Magnetic Model) that was developed jointly by the British Geological Survey and the National Geophysical Data Center. This model uses the geomagnetic field for altitude and navigation for example and was published in January 2000, and (b) the IGRF (International Geomagnetic Reference Field) of the International Association of Geomagnetism and Aeronomy that is based in equation (2); in other words, we can say that this model is an established numerical

model or series of global spherical harmonic models of the geomagnetic field whose sources are in the Earth's core. The model is produced and maintained by a group of geomagnetic field modelers who review it every five years [2, 3]. This model has been used by some authors as computational method [5, 8, 10, 12, 14]. The usefulness of modelling the behavior of the magnetic field lies in the dynamics of the magnetic poles, but it is important to know that the geomagnetic field has important elements that are nondipolar [15].

As Panama lacks geomagnetic stations, then we can use a geostatistical method from the IGRF-11 model which has shown satisfactory results with respect to field data. Some authors refer to the magnetic declination fluctuations in different geographical latitudes; according to [16] refers to changes that occur long time period in Europe, meanwhile according to [11] the geomagnetic forces are dynamics. This work is focused on updating the map of the magnetic declination of the Isthmus of Panama between periods of five years (2010-2014) for understand the dynamics of this important geomagnetic parameter and its impact of the data for navigation purposes.

2. Materials and methodology

The first step is to define the mesh points, in this work we have located these points every thirty minutes (30') from the point of origin 7°00' N, -77°00' W to 10°00' N, -83°00' W. Figure 1 shows the distribution of these points on the map of the Isthmus of Panama.

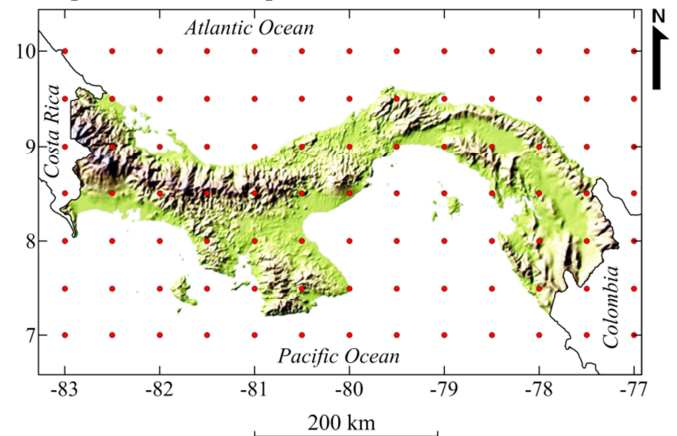


Figure 1. Coordinates of sampling points of IGRF-11 model.

For these geographical coordinates WGS-84 was used as a geographical reference. In second step, elevations for each sampling point was determined

using the digital terrain model of NASA SHUTTLE (1:100000 scale). Finally, the IGRF-11 model was then applied to each sampling point for the first day of January of the years 2010 to 2014. The coefficients of the main field model in the period established and secular variations values are computed.

The results obtained were processed in Geographic Information System where isogonic interpolation of lines for each date mentioned was done; this process is made by geostatistical methods according to [8, 10] and then, a regional geographical analysis of temporal variations of isogonic lines was performed.

3. Results

The results of five maps of magnetic declination for these dates are presented in figure 2. These maps show that the magnetic declination changes in western direction of the Isthmus of Panama, but another important feature is that this displacement is not systematic.

For the time interval between 2010 and 2014, areas with magnetic declination fluctuations that can affect navigation systems, have been identified according to the coefficients of variation estimated from the developed model.

According to estimated data obtained from the IGRF-11 model the areas with highest annual variations of magnetic declination are: (1) the southern part of the Azuero Peninsula continuing for the area around Coiba Island in the Veraguas province, (2) the central mountain in Veraguas, Coclé provinces and Western Panama, (3) the western part of Chiriquí province, (4) the eastern Gulf of Chiriquí, (5) the southern part of Las Perlas archipelago and (6) the coastal area of the Bocas del Toro province. Figure 3 presents magnetic variation coefficients map between 2010 and 2014.

4. Conclusions

Understanding of Earth magnetic field dynamics in the Isthmus of Panama is a topic of remarkable interest in marine and aerial navigation systems and for some migratory species, and therefore update magnetic declination map is necessary to understand the impact in Cartography and Ecology.

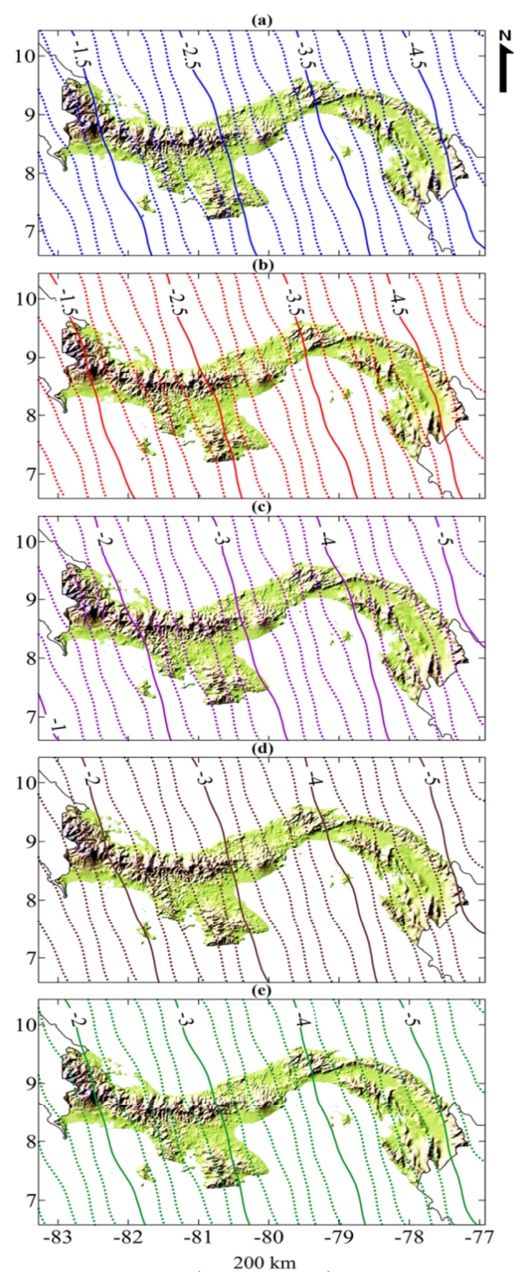


Figure 2. Magnetic declination maps to January 1 of the years: (a) 2010, (b) 2011, (c) 2012, (d) 2013 y (e) 2014.

The magnetic declination of Panama for the period 2010-2014 remains displacing to the western part of the isthmus; it should also be noted that this displacement is not systematic. The analysis of the annual variations in isogonic lines during the 2010-2014 periods shows a total of six areas where magnetic declination changes are large.

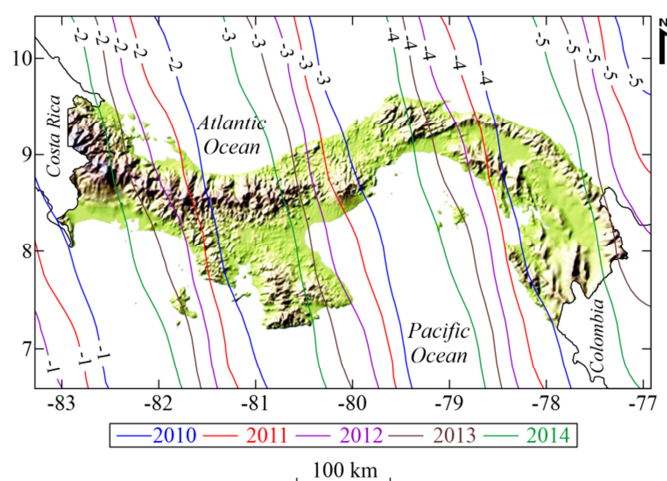


Figure 3. Variability of magnetic declination between 2010 and 2014.

The identification of these zones of magnetic declination variations can justify the aim to amplify the period to determinate all variation of the magnetic field and its impact on Cartography, Geophysics and Ecology. In near surface magnetic prospection, the knowledge of these parameters can play an important role.

5. References

- [1] Lowrie, W. *Fundamentals of Geophysics*, Cambridge University Press, 1997. pp. 354.
- [2] Finlay, C.C., Maus, S., Beggan, C.D., Bondar, T.N., Chambodut, A., Chernova, T.A., Chulliat, A., Golovkov, V.P., Hamilton, B., Hamoudi, M., Holme, R., Hulot, G., Kuang, W., Langlais, B., Lesur, V., Lowes, F.J., Lühr, H., Macmillan, S., Manda, M., McLean, S., Manoj, C., Menvielle, M., Michaelis, I., Olsen, N., Rauberg, J., Rother, M., Sabaka, T.J., Tangborn, A., Toffner-Clausen, L., Thébault, E., Thomson, A.W.P., Wardinski, I., Wei, Z., & Zvereva, T.I. *International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation*. *Geophysical Journal International*, 2010. Vol 183(3), pp. 1216-1230.
- [3] Macmillan, S. & Maus, S. *International Geomagnetic Reference Field-the tenth generation*. *Earth Planets Space*, 2005. (57), pp. 1135-1140.
- [4] Andrés, P., & Rodríguez, R. *Evaluación de Riesgos Ambientales en Centroamérica*, 2008. pp. 339-356.
- [5] Jiménez, J., Galindo, J., Ruano, P., & Morales, J. *Anomalías Gravimétricas y Magnéticas en la Depresión de Granada (Cordilleras Béticas): Tratamiento e Interpretación*. *Geogaceta*, 2002. (31), pp. 143-146.
- [6] González, F. *Elaboración del mapa de declinación magnética para la República de Panamá, años: 2007-2009*. *Societas*, 2010. Vol 12(2), pp. 43-48.
- [7] Gaibar, P. *Declinación Magnética Peninsular*. *Acta Geológica Hispánica*, 1968. (1), pp. 2-6.
- [8] Tellez, S., Fuentes, J., & Fabra, L.M.. *Aplicación del análisis geoestadístico para el procesamiento de datos de anomalía magnética marina sobre un naufragio en el Caribe colombiano*. *UD y la Geomática*, 2010. (4), pp. 63-66.
- [9] Cárdenas, A., Acosta, J.C., & Arias, J.A. *Fuente de Parámetros Imagen de la Anomalía Magnética en el Sector Punta Gigante, de la Bahía de Cartagena*. *UD y la Geomática*, 2010. (4), pp. 88-102.
- [10] Pereira, G. *Construcao de um Atlas Geomagnetico para o Estado de Pernambuco e suas Contribucoes as Pesquisas e Estudos Ambientais*. *Boletim Ciencia Geodesica*, 2009. Vol. 15(1), pp. 16-32.
- [11] Campos, J.J., Campos, J.O., & Urrutia, J. *Variación Secular reciente y cartas de los elementos del Campo Geomagnético en México*. *Geofísica Internacional*, 1991. Vol. 30(2), pp. 107-116.
- [12] Hernández, E., Nolasco, J.O., Campos, O., Cañón, C., Orozco, A., Urrutia, J., & Álvarez, G. *Evaluación Preliminar del Campo Geomagnético de Referencia Internacional IGRF-90 para México y Anomalías Magnéticas Corticales*. *Geofísica Internacional*, 1993. Vol. 33(2), pp. 235-241.
- [13] Zeyen, H.J., & Banda, E. *Cartografía Física en Cataluña. I: El Mapa Aeromagnético*. *Sociedad Geológica*, 1988. Vol. 1(1-2), pp. 73-79.
- [14] Matzka, J., Olsen, N., Fox Maule, C., Pedersen, L.W., Berarducci, A.M., & Macmillan, S. *Geomagnetic observations on Tristan da Cunha, South Atlantic Ocean*. *Annals of Geophysics*, 2009. Vol 52(1), pp. 97-105.
- [15] Love, J. *Magnetic monitoring of Earth and space*. *Physics Today*, 2008. Vol 61(2), pp. 31-37.
- [16] Thompson, R. *Long Period European Geomagnetic Secular Variation Confirmed*. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 1975. Vol 43, pp. 847-859.

Entornos virtuales 3D: Tecnología innovadora para mejorar el aprendizaje significativo

3D Virtual environments: Innovative technology to improve meaningful learning

Nadia E. Lee^{1*}, Yazmina Villarreal²

^{1,2}Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

^{1,2}Universidad Tecnológica de Panamá

¹nadia.lee@utp.ac.pa, ²yazmina.villarreal@utp.ac.pa

Resumen– Con el surgimiento de novedosos escenarios en las que se pueden simular situaciones reales a través del computador, se logra que las personas sean protagonistas de su propio aprendizaje, permitiendo un aprendizaje significativo. El presente artículo, documenta la experiencia en el desarrollo del proyecto Kiosco Informativo Interactivo de la Universidad Tecnológica de Panamá - KINFO-UTP, cuyo propósito es orientar a los visitantes y a la comunidad universitaria de forma rápida y dinámica con información sobre la ubicación de determinada instalación de la Universidad, tales como: facultades, laboratorios, aulas de clase y oficinas administrativas. KINFO-UTP, fue desarrollado haciendo uso de las tecnologías de mundos virtuales, motores gráficos y lenguajes de programación web, para crear la interoperabilidad entre un diseño 3D y la interface web de la aplicación. KINFO-UTP trabaja bajo el sistema operativo de escritorio Windows y dispositivos móviles que soporten una librería gráfica para la manipulación de gráficos 3D a todos los niveles. Se aplicó una encuesta, para evaluar la interfaz gráfica de usuario. Futuros trabajos permitirán mejorar la interface de KINFO-UTP basándose en los datos que se obtengan de la experiencia de usuario.

Palabras claves– aprendizaje significativo, diseño 3D, enseñanza, entornos virtuales 3D, interacción hombre máquina, motores de juego, tecnologías emergentes.

Abstract– Computer simulations of real situations can allow people to create their own meaningful pathway towards learning. Here we describe a project in which a 3D virtual reality model of the university serves as an information kiosk. The purpose of the Interactive Information Kiosk of the Technical University of Panama (KINFO-UTP) is to provide visitors and the university community with fast and dynamic information on the location of University laboratories, classrooms, administrative and faculty offices. Virtual world's technologies, graphics engines and web programming languages were using to develop KINFO-UTP and create interoperability between a 3D design and the web interface of the application. KINFO-UTP runs under a Microsoft Windows operating system and mobile devices that support a graphical library for handling 3D graphics at all levels. To evaluate of the graphical user interface, was used a survey. Further development might allow the Kiosk to improve its own interface based on data it obtains from the users experience.

Keywords– meaningful learning, 3D design, teaching, 3D virtual environments, human computer interaction, game engines, emerging technologies.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 26 de agosto de 2016

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

Los entornos 3D se han convertido en un material educativo que ha cobrado gran importancia en los procesos de enseñar y

aprender; por sus componentes multimedia e hipermidia que permite atender a los diferentes estilos cognitivos de los alumnos y complementan los tradicionales materiales impresos. Consideramos que es

importante siempre ir innovando con las nuevas tecnologías que surgen de nuevos desarrollos tecnológicos que contribuyan a crear nuevas cosas.

El proyecto Kiosco Informativo Interactivo (KINFO-UTP) ofrecerá de forma fácil y rápida información sobre la ubicación física de las instalaciones como: facultades, laboratorios, aulas de clases, oficinas administrativas; entre otras informaciones; de los edificios del área metropolitana de la Universidad Tecnológica de Panamá.

La información se brindará de manera interactiva, con animación y sonido, de forma atractiva y en el momento que lo solicite el usuario. Mediante la aplicación y uso de tecnología de realidad virtual y motores 3D.

El proyecto consta de cuatro etapas que corresponden a la implementación del Kiosco Informativo Interactivo para cada uno de los siguientes edificios del área metropolitana de la Universidad Tecnológica de Panamá:

- Etapa I: Kiosco Informativo Interactivo del edificio n.º 3.
- Etapa II: Kiosco Informativo Interactivo del edificio n.º 1.
- Etapa III: Kiosco Informativo Interactivo del edificio de Postgrado.
- Etapa IV: Kiosco Informativo Interactivo del edificio Administrativo.

Cada etapa del proyecto KINFO-UTP se ha dividido en dos fases. La primera fase consiste en el modelado 3D del edificio y la programación para acceder a las distintas instalaciones y la segunda fase consistirá en la publicación correspondiente para su uso.

2. Revisión literaria

El modo en que el usuario se ha comunicado con el computador ha ido evolucionando a través de los años. Este desarrollo tecnológico nos permite hacer uso de entornos virtuales 3D en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La interfaz de usuario es la manera en que el hombre se comunica con la máquina, de ahí nace la importancia de diseñar interfaces adecuadas que permitan la interacción hombre – máquina. ¿Y cómo sabemos que la interfaz es adecuada? Lo adecuado o no de una interface lo comprobamos con una evaluación de la misma. La interfaz debe ser evaluada por los usuarios, porque en el ámbito de la usabilidad es donde tendrán

un papel principal activo para valorar justamente lo que se les presenta.

A continuación presentamos como Nielsen [1] resume los tipos de interfaces que se han dado desde 1945 hasta hoy. Tipos de interfaces:

- Sistemas de funcionamiento por lotes.
- Interfaces en modo comando.
- Interfaces a pantalla completa.
- Interfaces gráficas de usuario.
- Interfaces en modo no comando.
- Interfaces en lenguaje natural.

Las interfaces de usuario más utilizadas actualmente son las interfaces gráficas, las cuales son mucho más atractivas para el usuario debido a que la mayoría de sus contenidos son diseñados para atraer visualmente al usuario. Se basan en la manipulación directa del sistema por parte del usuario. El sistema queda representado por metáforas extraídas del mundo real que buscan dar al usuario un modelo mental de funcionamiento válido para que el diálogo que se dé sea inteligible.

Los entornos virtuales 3D nacieron en los años 90, cuando se desarrolla la tecnología de Realidad Virtual-VR. Este avance de la tecnología computacional, en el área de diseño gráfico ha permitido crear los entornos virtuales 3D, como por ejemplo *SecondLife* u *OpenSimulator*; muy utilizados para llevar a cabo experiencias educativas. El potencial de los entornos 3D lo podemos evidenciar con “Innova-T3D” [2], la implementación de este Campus permite la interconexión de plataformas E-Learning con Mundos Virtuales 3D, el cual representa un espacio innovador de aprendizaje.

Los mundos virtuales se han investigado para usos educativos desde mediados de 1990 como lo demuestra la investigación ExploreNet [3]

Los entornos de aprendizaje 3D en la educación forman parte de los nuevos escenarios educativos que son propicios para fomentar las actividades de trabajo colaborativo; el uso de esta herramienta informática como innovadora en los procesos de enseñar y aprender es la forma más común y popular.

Los mundos virtuales, “proporcionan un entorno rico de aprendizaje, fomentan un mayor interés por los estudiantes, los exponen a un medio diferente de aprendizaje y a la altura de sus intereses en la tecnología y su necesidad de presencia en las redes sociales” [4].

“Los entornos 3D tienen el potencial para desarrollar prácticas que optimicen la curva de aprendizaje del usuario. Este aprende casi sin percatarse, a interactuar con el *software*, el entorno virtual y, lo más importante, con los otros usuarios, con los que comparte la experiencia e interactúa en el entorno” [5].

El uso de programas para modelado 3D empleados para crear entornos 3D como una actividad de aprendizaje propicia la formación, así lo concluyeron [6] que investigaron la interacción de los estudiantes en el aprendizaje, a través del modelado para desarrollar un espacio virtual. Este estudio explora el aprendizaje y la instrucción dentro de una nueva tecnología, colaboración, ambiente de aprendizaje participativo mediante el seguimiento de la aparición de entendimiento compartido y productos a través de las prácticas de estudiantes y profesores.

3. Metodología

Para la creación del Kiosco Informativo Interactivo (KINFO-UTP) se inicia tomando como base un dibujo técnico e imágenes. Los planos arquitectónicos de cada uno de los edificios que se encuentran en el área metropolitana del campus. Una vez recibido los planos se prosigue con:

- Modelado 3D del edificio: consiste en elaborar el modelado 3D del edificio con todas sus instalaciones físicas con un programa de diseño 3D.
- Escenario interactivo: consiste en convertir el edificio en formato virtual.
- Menú interactivo con el listado de todas las instalaciones físicas catalogadas.
- Localización animada en 3D: consiste en la realización de la programación para la localización interactiva de las instalaciones utilizando el menú.
- Posteriormente se harán las pruebas de funcionalidad del sistema.
- Por último, se subirá la aplicación del Kiosco Informativo Interactivo al servidor Web para su uso.

Utilizamos dos computadoras; la que usamos para el diseño contaba con las siguientes características: sistema operativo Windows® 8.1 Professional, CPU (Unidad Central de Proceso) 64-bit *quad core* Intel®, Tarjeta gráfica con capacidad para *DirectX 9 (shader model 2.0)*. *OpenGL- card* con 2 GB RAM. Memoria de 8 GB RAM, Monitor *Full HD* con 24 bit color, Disco Duro 3TB.

Para la primera etapa se modeló el edificio n.º 3 de la Universidad Tecnológica de Panamá. En la figura 1 se observa el modelado 3D del edificio n.º 3 del campus.



Figura 1. Modelado 3D del edificio n.º 3 de la Universidad Tecnológica de Panamá.

El proceso completo para el modelado 3D, aplicación de colores y texturas, procesamiento de imágenes, renderizado de las áreas y edificios se explica en [7].

Para la creación de la interface gráfica de usuario en esta primera etapa del proyecto, utilizamos el motor de juego gratuito, *Unreal Development Kit* (UDK), que permite la transformación de un modelo 3D en un entorno 3D virtual interactivo. El proceso que se llevó a cabo para el diseño e implementación de la interface gráfica de usuario se describe en [8]. En la figura 2 podemos observar la interface gráfica de usuario que se diseñó para la primera versión de KINFO-UTP.



Figura 2. Menú principal de la interface de usuario, versión 1.0 de KINFO-UTP.

Las pruebas de funcionamiento del prototipo inicial se hicieron en una computadora con las siguientes características: *HP TOUCHSMART 520-1160 CORE I5 2400 8 GB 2TB BLUE RAY 23 QE741AA#ABM* PC AIO. Sistema operativo Windows 7 64 bits. Tarjeta integrada HD 2000 Intel. También se aplicó una encuesta como instrumento de evaluación de la interfaz gráfica del usuario, con la finalidad de investigar si le facilita al usuario el aprendizaje del sistema y si cumple con los principios de diseño, como: Coincidencia entre el sistema y el mundo real, la flexibilidad y la eficiencia de uso. Estos principios han sido definidos, estudiados e investigados por autores como Nielsen [9], Mendel [10], Shneiderman.

Los usuarios que respondieron la encuesta no necesitaron cumplir con un perfil determinado, solo debieron interactuar con el Kiosco Informativo Interactivo y aprender por sí solo a navegar a través de la aplicación. Esta encuesta fue aplicada a estudiantes, colaboradores y visitantes de la Universidad.

La encuesta tiene tres secciones. En la primera sección hay tres preguntas, dos de tipo demográfica y una socioeconómica. En la segunda sección se le presenta al encuestado ocho tareas de las cuales solo escoge cuatro para interactuar con el sistema. Esta interacción entre el usuario y el sistema le permitirá contestar las doce preguntas que se encuentran en la tercera sección de la encuesta. En esta sección consideramos las siguientes preguntas para medir la eficiencia, consistencia y satisfacción del usuario en su interacción con el sistema.

¿Existe alguna opción que no sabe lo que significa?

___Sí ___No

¿Se ha encontrado usted con algún ícono que no representa la acción que esperaba? ___Sí ___No

¿Entiende la información que le proporciona la interfaz? ___Sí ___No

El usuario en esta primera etapa contaba con un entorno 3D virtual en donde podía interactuar, percibir y aprender información. En la figura 3 se muestra un ejemplo de KINFO-UTP para indicar el camino para llegar a una de las instalaciones del edificio n.º 3.

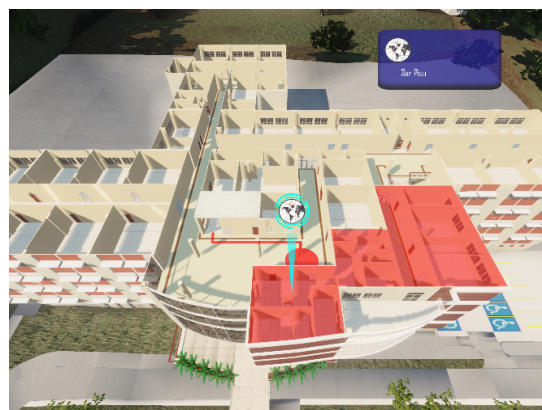


Figura 3. Camino para llegar a CIDITIC.

4. Resultados

Se realizó una prueba de funcionalidad del primer prototipo, en donde se observó que los usuarios deberían estar presentes en el Edificio 3 para aplicarles la encuesta, limitándolos a un solo modo de acceso en la que se utilizó un computador con entorno Windows de escritorio.

En la segunda etapa se consideró las limitaciones de acceso, por lo que se utilizaron nuevos lenguajes de programación Web que permitieron innovar la aplicación implementando otros modos de acceso tales como: tabletas, teléfonos, y cualquier sistema operativo capaz de manejar aplicaciones web. Se emplearon los lenguajes de programación web HTML5/CSS3/JS y la librería de código abierto Babylon.js compatible con cualquier navegador web independientemente de la plataforma de ejecución; esta librería permite la interoperabilidad entre un diseño 3D y programación web.

Estos cambios dan como resultado el rediseño de la interfaz gráfica de usuario como se observa en la figura 4.

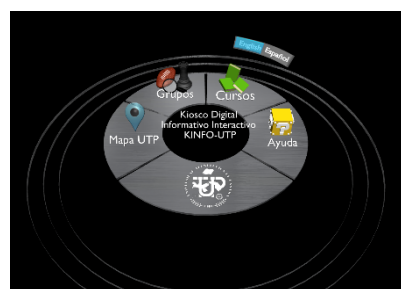


Figura 4. Menú principal de la interface de usuario, versión 2.0 de KINFO-UTP.

En el entorno 3D virtual del Kiosco Informativo Interactivo (KINFO-UTP) versión 2.0 se pueden ubicar las instalaciones de los edificios N.º 1 y N.º 3 del campus. En la figura 5 se muestra el modelado 3D de los Edificios N.º 1 y N.º 3 de la Universidad Tecnológica de Panamá.

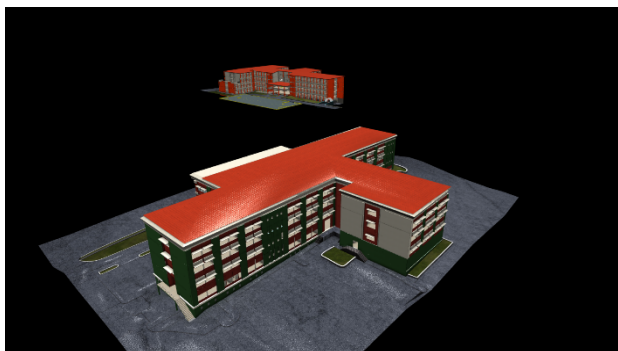


Figura 5. Modelado 3D de los edificios N.º 1 y N.º 3 de la Universidad Tecnológica de Panamá.

5. Conclusiones

El desarrollo del entorno 3D virtual del Kiosco Informativo Interactivo (KINFO-UTP) y su posterior evaluación de la funcionalidad nos muestra la utilidad y aceptación de este tipo de entorno como una tecnología innovadora para mejorar el aprendizaje significativo por medio de interfaces gráficas de usuarios tridimensionales que llaman la atención de una manera visual más atractiva y motivadora que invita a conocer más acerca del entorno 3D.

6. Trabajos futuros

Se está trabajando en la aplicación de una segunda evaluación de funcionalidad de la nueva versión generada en la segunda etapa. Para este fin, se realizará un análisis más científico con datos representativos, mediante el diseño de una encuesta, la cual se aplicará a la muestra de la población seleccionada, que estará conformada por: estudiantes, colaboradores y visitantes de la Universidad. En esta ocasión se tomará en cuenta los modos de acceso al Kiosco Informativo Interactivo (KINFO-UTP), que podrá ser en línea a través de dispositivos móviles.

7. Agradecimiento

Agradecemos a los colaboradores del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación en Tecnologías de Información y las Comunicaciones - CIDITIC de la

Universidad Tecnológica de Panamá, lugar donde se elaboró el proyecto, especialmente al programador Carlos Quintero.

Agradecemos a la Dirección de Investigación de la Universidad Tecnológica de Panamá por brindarnos las herramientas para poder realizar el artículo en el Taller de Redacción de Escritura Científica, especialmente al expositor Dr. Abdiel Pino.

8. Referencias

- [1] J. Nielsen. Usability Engineering. Academic Press, Boston 1993. pp 358.
- [2] J. C. Quinche y F. L. González. "Entornos Virtuales 3D, Alternativa Pedagógica para el Fomento del Aprendizaje Colaborativo y Gestión del Conocimiento en Uniminuto." *Formación Universitaria*, vol.4(2). pp. 45-54. 2011.
- [3] J. M. Moshell y C. E. Hughes. (16-17 mayo 1999). "CHI 99 Online Communities Workshop." [En línea]. Available: <http://www.cc.gatech.edu/~asb/workshops/chi/99/participants/moshell.html>. [Último acceso: 23 noviembre 2014].
- [4] R. Papp. "Journal of Technology. The University of Tampa." (Abril 2009). [En línea]. Available: <http://www.aabri.com/manuscripts/10427.pdf>. [Último acceso: 23 noviembre 2014].
- [5] R. Martínez López. SLOODLE. Conexión de entornos de aprendizaje. Barcelona, España: UDC, 2013. pp 91-139
- [6] S. A. Barab, K. E. Hay, M. Barnett y K. Squire. "CiteSeer." (2001). [En línea]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=425C18A12E60DC0BA79902CAD957070?doi=10.1.1.173.1009&rep=rep1&type=pdf>. [Último acceso: 23 noviembre 2014].
- [7] N. E. Lee G., G. de Clunie y G. Santana. "3D Game Engine as a Visual Information System." *6th Euro American Conference on Telematics and Information Systems (EATIS)*, Valencia, España, 2012. pp 1-4.
- [8] N. Lee García, G. de Clunie y G. Santana. "Kiosco Informativo Interactivo" *8º Congreso Colombiano de Computación*, Armenia, Colombia, 2013. pp 1-6.
- [9] J. Nielsen y R. Molich. "Heuristic evaluation of user interfaces." *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '90)*, New York, NY, USA, pp 249-256. 1990.
- [10] T. Mandel, The elements of user interface design, New York: John Wiley & Sons, Inc. pp 1-464. 1997.

Impacto de la entrada de la generación eólica y fotovoltaica en Panamá

Impact of wind and photovoltaic generation input in Panama

Ernesto Aguilar Madrid ¹, Lisnely Valdés Bosquez ^{2*}

^{1,2}Universidad Tecnológica de Panamá,

Campus Metropolitano Victor Levi Sasso, 0819-07289 El Dorado, Ciudad de Panamá, Panamá

¹e17aguilar@gmail.com, ²lisnelyv@gmail.com

Resumen— A partir del año 2014 ha iniciado en Panamá la operación de parques eólicos y fotovoltaicos en la red eléctrica nacional. Este trabajo muestra el efecto que tiene la entrada de estas energías renovables en el parque de generación de Panamá, esto a través de un algoritmo de minimización del costo de producción a una parte significativa del parque de generación. Para representar este plantel se emplean datos históricos de plantas presentes en el sistema y de simulaciones en el caso de futuros proyectos de generación eólica y fotovoltaica. La planificación se realiza a través de la programación no lineal mixta-entera (MINLP). La implementación de este modelo se ilustra a través de casos de estudio compuestos por la ejecución del despacho en un día representativo de cada mes del año. Se presenta un caso de estudio base con un plantel hidro-térmico que describe la situación en el año 2013. Posteriormente, con el objetivo de observar el comportamiento del plantel de generación al integrar la generación eólica y fotovoltaica; se muestran dos escenarios que pueden presentarse a partir del año 2018, un caso de estudio que integra generación eólica y fotovoltaica en el plantel hidro-térmico y un caso de estudio que incorpora generación eólica y fotovoltaica junto con la primera planta de gas natural que se prevé inicie operaciones en el año 2018. Los resultados del despacho diario se utilizan como una herramienta para la planificación anual que contempla requerimientos de reserva, estudio del costo de la energía (COE).

Palabras claves— Costo de la energía, energía eólica, energía fotovoltaica, penetración renovable.

Abstract— The operation of wind and photovoltaic farms in Panama's national power grid began in 2014. This paper shows the effect that these renewable energy inputs have been in Panama's generation power system, using a production cost minimization algorithm. To represent this generation power system, we used historical data of actual power plants and simulations of future wind and photovoltaic generation projects. Planning is done through mixed integer nonlinear programming (MINLP). The implementation of this model is illustrated through case studies for a representative day of each month of the year. First a base case study is described for a hydro-thermal generation power system as it existed in 2013. Next was added wind and photovoltaic generation. The objective was to observe the behavior of the generation power system after this integration. Two scenarios were investigated. In the first case study wind and photovoltaic generation was integrated into a hydro-thermal generation power system. In the second case study a gas power plant (expected to begin operations in 2018) is integrated into a wind and photovoltaic generation power system. The results in daily dispatch are used as a tool for annual planning, considering the reserve requirements from the study and the cost of energy (COE).

Keywords— Cost of energy, photovoltaic energy, renewable penetration, wind energy.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 21 de febrero de 2017

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

En Panamá, para el año 2014, la generación hidroeléctrica representó un 55% y la generación termoeléctrica un 34%, el resto correspondía a importaciones con la red de

Centroamérica e inyección de los excedentes de generación del Canal de Panamá, siendo este segundo intercambio mayormente termoeléctrico. Mientras que la generación eólica y solar fotovoltaica en conjunto tuvieron una penetración máxima de 2.9% durante el mes de febrero de 2014 [1].

Este porcentaje está en aumento con la incorporación de proyectos de ambos tipos de tecnología, por ejemplo para el mes de febrero de 2016 se alcanzó una penetración conjunta de eólica y fotovoltaica de 26.42%, siendo este un aumento significativo con respecto al 2014. A julio de 2016 la capacidad instalada eólica fue de 270 MW, la solar fotovoltaica fue de 40 MW y continúan en aumento con una buena aceptación, por tanto, es importante realizar estudios para su incorporación operativa al despacho económico. El objetivo de esta investigación fue utilizar un modelo de optimización para encontrar el conjunto óptimo de las plantas de generación para suplir la demanda del sistema. Este modelo de planificación analiza la incorporación de generación eólica y fotovoltaica. Se toma un día representativo de cada mes, hora a hora para analizar el comportamiento del plantel de generación en un horizonte anual. El clima de Panamá se caracteriza por dos estaciones climáticas durante el año. La estación comprendida entre mayo y diciembre, en donde la generación hidroeléctrica puede llegar a alcanzar el 65% de la generación total. Por otro lado, la estación seca, de enero a abril en donde la generación hidroeléctrica solo alcanza a suplir el 40% de la generación total. Considerando una muestra de los años 2010 al 2015, lo anterior permite analizar el recurso hídrico por medio de dos escenarios, dentro del mismo año. Esta particularidad permite que en un horizonte de 12 meses, se presenten condiciones variadas de recursos. Al aplicar esto a un sistema eléctrico como el de Panamá, el punto sensitivo es conocer el aporte eólico y fotovoltaico en un plantel de generación que está sujeto mayormente a la estacionalidad del recurso hídrico.

La investigación sobre la optimización de los sistemas de generación, ha sido motivo de estudio por lo menos durante cinco décadas y nuevamente es relevante para manejar la variabilidad de las tecnologías de generación eólica y fotovoltaica. Los tres temas de enfoque en las investigaciones previas fueron: Primero, los métodos de solución comunes [2], la programación mixta entera (MIP) y relajación de Lagrange (LR). Segundo, profundizar en la representación de las plantas termoeléctricas [3] [4], que hacen énfasis en considerar una adecuada representación de las rampas para unidades térmicas, ya que éstas deben ser encendidas o apagadas con más frecuencia, en caso de presencia de

parques eólicos y fotovoltaicos. Se revisó también el despacho hidrotérmico [5], donde se consideran centrales hidroeléctricas en cascada y centrales termoeléctricas en un sistema uninodal que busca determinar el despacho a través de la solución de Dantzig Wolfe; siendo una situación similar a la del plantel de Panamá antes de la integración de eólica y fotovoltaica. Tercero, consideraciones sobre reserva operativa [6], que cubren la incertidumbre de las desviaciones entre la generación y la demanda con una restricción de reserva. Y otros trabajos como Ibanez [7], que propone establecer un porcentaje adicional de reserva rodante que corresponda al grado de penetración eólica y fotovoltaica que se pronostica para un despacho.

Se identifica que la energía eólica y solar fotovoltaica suelen ser caracterizadas en la asignación de unidades con el método Montecarlo para crear los escenarios de generación de ambos [8]. Por otro lado para las unidades térmicas e hidroeléctricas se utilizan representaciones de consumo de combustible y caudal turbinado respectivamente como Tian-qiong [9]. Hay precedente de estudios como Hamann [10], que muestra resultados favorables para la coordinación hidroeólica tomando un conjunto de hidroeléctricas en cascada para equilibrar la variabilidad de la energía eólica; que es similar a la situación en Panamá.

Considerando que Panamá es el segundo país de América con mayor precipitación pluvial [11], y que en este trabajo se representa la principal cuenca de generación de Panamá (cuenca 108), que posee hidroeléctricas con embalse y de pasada dispuestas en forma de cascada junto a la puesta en marcha del parque eólico de Penonomé, que es el parque de mayor capacidad de América Central a la fecha, hay un gran potencial de generación renovable.

La implementación de este modelo determinístico se ejecuta utilizando la programación no lineal mixta entera (MINLP) con el *software* de optimización [12].

El resto de este artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 describe el modelo matemático que se ha desarrollado para esta investigación. La sección 3 presenta casos de estudio, siendo el primero representativo del plantel hidrotérmico de Panamá en el 2013, seguido de dos posibles situaciones que se pueden presentar en el plantel de generación de Panamá a partir del año 2018, al contemplar generación eólica,

fotovoltaica y con gas natural. También se menciona el impacto de la generación eólica y solar fotovoltaica en el Mercado Eléctrico de Panamá. Finalmente en la sección 4 se presentan las conclusiones.

2. Modelo matemático

Este consta de dos funciones objetivo y una serie de restricciones. Una función objetivo corresponde a la minimización del costo de producción de la energía (1) y la segunda función minimiza otros costos relacionados con la operación del sistema (2), como el costo por arranque $C_{P_T}^{arr}$, el costo por parada $C_{P_T}^{par}$, costos por energía no suministrada C_{ENS} y costos por reserva rodante C_{RR} . Ambas funciones objetivo están constituidas por la sumatoria de costos que ha de tomar en cuenta el operador del sistema de generación para asignar cada unidad generadora, procurando el menor costo de esta asignación de unidades a lo largo del horizonte de planificación. Funciones objetivo a minimizar:

$$\min \{ C_{Pr} = \sum_{P_T, t} (C_{P_T, t}^{var} \cdot PG_{P_T, t}) + \dots \dots + \sum_{P_{He}, t} (C_{P_{He}, t}^{var} \cdot PG_{P_{He}, t}) \} \quad (1)$$

$$\min \{ C_{Op} = \sum_{P_T, t} (C_{P_T}^{arr} \cdot Y_{P_T, t} + C_{P_T}^{par} \cdot Z_{P_T, t}) + \dots + \dots C_{ENS} + C_{RR} \} \quad (2)$$

Donde t es el intervalo de despacho, para esta investigación una hora y PG es la potencia a generar. P es el conjunto de plantas de generación, del cual forman parte los subconjuntos: p_T representa las plantas termoeléctricas, el cual contiene subconjuntos según el tipo de combustible, donde el subíndice c representa al carbón, b al búnker C , d al diésel y g al gas natural. p_H representa a las hidroeléctricas, a su vez se clasifican en hidroeléctricas de pasada p_{Hp} e hidroeléctricas de embalse p_{He} . Parques eólicos p_E y parques fotovoltaicos p_F . Las plantas despachables que utilizan fuentes de energía renovable tienen un costo variable igual a cero al momento del predespacho [13]. Su costo operativo es cero debido a que los recursos que utilizan para generar energía eléctrica no tienen costo alguno. Aunque el precio de la operación que se refleja en las contrataciones de estas plantas no es cero, es importante destacar que en la mayoría de los casos el precio de la energía contratada mediante este tipo de tecnologías es menor al de las plantas termoeléctricas.

$$C_{P_{Hp}, t}^{var} = 0 \quad (3)$$

$$C_{P_E, t}^{var} = 0 \quad (4)$$

$$C_{P_F, t}^{var} = 0 \quad (5)$$

La excepción de las plantas renovables son las hidroeléctricas de embalse, como se indica en [14]. El costo variable de la generación hidroeléctrica de embalse $C_{P_{He}, t}^{var}$ depende del valor del agua que se tenga diariamente, normalmente tomando valores asociados a los costos variables de las unidades termoeléctricas, el cual está afectado por factores como: predicción de los costos futuros de combustible, cambios climatológicos esperados en el área de la cuenca y mayoritariamente por los niveles del reservorio:

$$C_{P_{He}, t}^{var} = C_{emb}^{VA} \cdot \frac{Q_{P_{He}, t}}{PG_{P_{He}, t}} + CO \& M_{P_{He}} \quad (6)$$

En el caso de las plantas de generación termoeléctricas el costo variable $C_{P_T, t}^{var}$ está ligado al costo de combustible $C_{P_T}^{cmb}$, el consumo específico $Cec_{P_T, t}$, la potencia generada y los costos de operación y mantenimiento $CO \& M_{P_T}$ [14].

$$C_{P_T, t}^{var} = \frac{C_{P_T}^{cmb} \cdot Cec_{P_T, t}}{PG_{P_T, t}} + CO \& M_{P_T} \cdot X_{P_T, t} \quad (7)$$

Las únicas plantas que conllevan un costo para el arranque o parada de su generación son las termoeléctricas. Estos costos también forman parte de la función objetivo. Donde $C_{P_T}^{arr}$ son los costos por arranque de cada termoeléctrica y $C_{P_T}^{par}$ representa los costos por parada.

El costo de la energía no suministrada C_{ENS} está determinado por la potencia no suministrada por el sistema de generación PNS_t durante el periodo t . Esta energía no suplida es penalizada con el costo M_{ENS} [15]. Entonces para representar el costo de la potencia no suministrada durante todos los periodos se escribe la siguiente sumatoria:

$$C_{ENS} = \sum_t M_{ENS} \cdot PNS_t \quad (8)$$

El costo de reserva rodante no regulante C_{RR} está determinado por la potencia disponible de las unidades que están sincronizadas al sistema en cada periodo [16], donde M_{RR} es el costo por cada MW de reserva rodante RR_t . Este tipo de reserva se describe con (17). Entonces se representa el costo de esta reserva con la siguiente ecuación:

$$C_{RR} = \sum_t M_{RR} \cdot RR_t \quad (9)$$

Las siguientes ecuaciones son restricciones del sistema, en primer lugar se considera un balance de potencia:

$$\sum_p (PG_{p,t}) + PNS_t = D_t \quad \forall t \quad (10)$$

Esta restricción establece el balance para que la demanda del sistema D_t sea suplido por la generación de las plantas $PG_{p,t}$ durante cada periodo t ; en los periodos que no pueda ser suplida esta demanda, se tiene entonces potencia no suministrada PNS_t que es penalizada con el costo como se muestra en (8).

La sumatoria de la generación de cada planta $PG_{p,t}$ abarca la generación de cada planta según el tipo de tecnología de generación:

$$PG_{p,t} = PG_{p_{T,t}} + PG_{p_{H,t}} + PG_{p_{E,t}} + PG_{p_{F,t}} \quad (11)$$

Se declara que la generación que ha de despacharse de cada tipo de tecnología renovable, debe ser menor o igual al pronóstico horario $PG_{p,t}^{prn}$ que se tiene para cada planta de generación renovable intermitente. Como para esta investigación no se cuenta con pronósticos de este tipo, se utilizan datos históricos de la generación de cada tipo de tecnología o simulaciones. Al utilizar pronósticos, claramente se añade incertidumbre al despacho. Por este motivo, es necesario contar con pronósticos confiables para cada planta de generación y adicionalmente, incluir métodos de reserva para compensar las variaciones de la generación renovable.

$$PG_{p_{Hp,t}} \leq PG_{p_{Hp,t}}^{prn} \quad (12)$$

$$PG_{p_{E,t}} \leq PG_{p_{E,t}}^{prn} \quad (13)$$

$$PG_{p_{F,t}} \leq PG_{p_{F,t}}^{prn} \quad (14)$$

Para brindar seguridad y confiabilidad a la operación del sistema, se requiere asignar una reserva operativa durante todos los periodos del despacho [14]. La reserva operativa del sistema RO_t es definida a partir de la suma de la reserva fría RF_t más la reserva rodante no regulante RR_t . La reserva rodante no regulante considera solamente las centrales termoeléctricas e hidroeléctricas de embalse.

Por otro lado, la reserva rodante regulante, corresponde a un 5% de la máxima generación de cada planta en cada periodo, está siendo considerada en el despacho al no utilizar la capacidad máxima. Entonces, la reserva operativa es:

$$RO_t = RF_t + RR_t \quad (15)$$

Donde la reserva fría se define como:

$$RF_t = \sum_{p_T} (P_{p_T}^{m\acute{a}x}) (1 - X_{p_T,t}) + \sum_{p_{He}} (P_{p_{He}}^{m\acute{a}x}) (1 - X_{p_{He},t}) \quad (16)$$

La reserva rodante no regulante está dada por:

$$RR_t = \sum_{p_T} (P_{p_T}^{m\acute{a}x} - PG_{p_T,t}) (X_{p_T,t}) + \dots \\ \dots + \sum_{p_{He}} (P_{p_{He}}^{m\acute{a}x} - PG_{p_{He},t}) (X_{p_{He},t}) \quad (17)$$

Se distingue el requerimiento dependiendo de los periodos base o pico de la demanda y también según la penetración de generación eólica y fotovoltaica [17], [18], [19].

Donde $P_{mayor}^{m\acute{a}x}$ es la potencia nominal de la unidad de generación más grande del sistema, entendiendo como unidad, un generador dentro de una planta.

$$RR_t \geq (5\%) (D_t) + (2\%) (\sum_{p_E} PG_{p_{E,t}} + \sum_{p_F} PG_{p_{F,t}}) \quad (18)$$

$$RR_t \geq (P_{mayor}^{m\acute{a}x}) + (3\%) (\sum_{p_E} PG_{p_{E,t}} + \sum_{p_F} PG_{p_{F,t}}) \quad (19)$$

Un mayor porcentaje de reserva rodante, implica una menor probabilidad de energía no suministrada, pero representa un mayor costo de operación del sistema. Por esto es preferible determinarla con pronósticos basados en la probabilidad de generación de cada parque [7]. Para la reserva de emergencia se considera una central que tenga la capacidad de sincronizarse rápidamente al sistema, esta central no es llamada al predespacho. De tal manera que se pueda disponer de la totalidad de esta central para el despacho en tiempo real, de ser necesario. Este tipo de reserva es modelada con la siguiente restricción:

$$\sum_t X_{p_{emerg,t}} = 0 \quad (20)$$

Para modelar el despacho en todos los periodos de una central termoeléctrica con largo tiempo de arranque, se define la restricción representada en la ecuación (21) para la planta BLM carbón. Mientras que la restricción en (22) establece que por lo menos la unidad de la hidroeléctrica de embalse Fortuna debe estar sincronizada en cada periodo:

$$\sum_t X_{BLM,t} = 24 \quad (21)$$

$$[X_{Fortuna1,t} + X_{Fortuna2,t} + X_{Fortuna3,t}] \geq 1 \quad \forall t \quad (22)$$

Se declara la lógica binaria de sincronización, arranque y parada de cada planta de generación como lo ha hecho Delarue [20], donde $X_{p,t}$ indica los periodos en que una unidad de generación está encendida, $Y_{p,t}$ indica los periodos en que se da un arranque y $Z_{p,t}$ indica los periodos de parada:

$$X_{p,t} - X_{p,t-1} = Y_{p,t} - Z_{p,t} \quad \forall p, \forall t \quad (23)$$

En la revisión bibliográfica se ha apreciado en múltiples modelos de asignación de unidades que se aplican restricciones de rampas de subida, rampas de bajada, tiempo de arranque en frío, tiempo de arranque en caliente, tiempo mínimo de encendido y tiempo mínimo de apagado; para termoeléctricas. En esta investigación se consideran periodos de una hora y las plantas que se han escogido poseen rampas de subida y de bajada de periodos menores a una hora, por ende no es necesario considerar estas restricciones. A excepción de las plantas de turbinas de vapor, cuyo tiempo de arranque es mayor a una hora y su tiempo mínimo de encendido es mayor a una hora. Estas situaciones son abarcadas por la restricción descrita en la ecuación (21), para una sola planta tomada en cuenta en este trabajo.

Para representar los requerimientos del sistema de generación en Panamá, se examina [21]. Se definen el límite superior $p_p^{máx}$ e inferior $p_p^{mín}$ de generación permitido por cada planta, incluyendo la variable indicadora $X_{p,t}$ para conocer los periodos en los que genera cada planta. Los límites superiores toman el 95% de la capacidad nominal de cada planta. Los límites inferiores están dados por la mínima potencia operativa de cada planta [6].

$$PG_{p,t} \leq p_p^{máx} \cdot X_{p,t} \quad (24); \quad PG_{p,t} \geq p_p^{mín} \cdot X_{p,t} \quad (25)$$

En el caso de los parques eólicos, fotovoltaicos y las centrales hidroeléctricas de pasada también se consideran estas restricciones. Pero adicionalmente se establecen restricciones para limitar la generación mínima de estas plantas al multiplicar el factor de inserción de potencia $FIPD_p$ disponible como se muestra a continuación:

$$PG_{p_{Hp},t} \geq p_{p_{Hp}}^{pron} \cdot FIPD_{p_{Hp}} \quad (26)$$

$$PG_{p_E,t} \geq p_E^{pron} \cdot FIPD_{p_E} \quad (27)$$

$$PG_{p_F,t} \geq p_F^{pron} \cdot FIPD_{p_F} \quad (28)$$

La razón principal para considerar el factor $FIPD_p$ es para priorizar la generación renovable disponible (hidroeléctricas de pasada, parques eólicos y fotovoltaicos), aprovechando los recursos de generación renovable propios del país y para disminuir las emisiones contaminantes. Este tipo de prioridad ha sido implementada en Europa a través del artículo 16.2.c) del Diario Oficial de la Unión Europea, Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo [22]. En otras publicaciones se establece una prioridad

de la generación eólica y fotovoltaica en la restricción del balance de potencia, al restar de la demanda la potencia disponible por este tipo de tecnologías, como [9], [23]. Para el presente modelo matemático, esto equivale a que el factor tome el valor de 1.

El consumo específico de combustible de cada planta termoeléctrica $Cec_{p_T,t}$ se define con la relación entre la potencia que está generando la planta y la cantidad de combustible que se necesita para sostener dicho nivel de potencia. Cada planta termoeléctrica tiene una característica de consumo asociada al nivel de potencia, esto se representa con una curva de consumo específico de combustible. En este modelo matemático se representan estas curvas con funciones cuadráticas [3].

$$Cec_{p_T,t} = a_{ccec, p_T} \cdot PG_{p_T,t}^2 + b_{ccec, p_T} \cdot PG_{p_T,t} + \dots + c_{ccec, p_T} \cdot X_{p_T,t} \quad (29)$$

Donde a_{ccec, p_T} , b_{ccec, p_T} , c_{ccec, p_T} son coeficientes propios de cada planta termoeléctrica, que caracterizan el consumo de combustible de cada una de éstas. Las siguientes restricciones hacen referencia a los límites de almacenamiento del embalse, asegurando los límites del volumen de agua con el que debe operar dicho embalse [5]. Capacidad máxima y mínima del embalse:

$$Vol_{emb,t} \leq Vol_{emb}^{máx} \quad (30); \quad Vol_{emb,t} \geq Vol_{emb}^{mín} \quad (31)$$

El caudal turbinado durante el periodo y el caudal ecológico se describen con [Wood, 2014]:

$$Q_{p_{He},t} = m_{cq, p_{He}} \cdot PG_{p_{He},t} + n_{cq, p_{He}} \cdot t \quad (32)$$

Donde $m_{cq, p_{He}}$ es el coeficiente de caudal turbinado y $n_{cq, p_{He}}$ es el caudal ecológico correspondiente de la planta hidroeléctrica, si este existe.

3. Casos de estudio

3.1 Caso 1: Plantel hidrotérmico (abril de 2013)

El plantel del caso 1 es una muestra significativa del plantel real que se tenía para el año 2013 en Panamá, abarcando aproximadamente un 50% de las plantas, guardando las proporciones por tipo de plantas. Abril de 2013 se caracterizó por registrar la demanda máxima de potencia del año y escasez de recursos hídricos que afectó el factor de capacidad de las hidroeléctricas de pasada, por esto se establece el promedio mensual de cada planta como la potencia máxima. Los resultados de este caso son el marco de referencia para contrastar la evolución que experimentará la matriz energética del país, como se estudia en casos posteriores.

Tabla 1. Plantas hidroeléctricas P_H por tipo de tecnología. Plantas termoeléctricas P_T por tipo de combustible. Período abril – 2013 [Generación CND, 2015]. P_{nominal} es la potencia nominal de cada planta, medida en MW

Hidroeléctricas				Termoeléctricas						
P_{H_p}	P_{nominal}	$P_P^{\min}$	$P_P^{\max}$	P_{T_b}	P_{nominal}	$P_P^{\min}$	$P_P^{\max}$	a_{ccec, P_T}	b_{ccec, P_T}	c_{ccec, P_T}
La Estrella	48.5	12.0	13.8	Panamá	96.0	40.0	89.0	0.00006	-0.00991	1.79959
Los Valles	54.7	12.0	14.3	Pacora	55.4	30.0	51.3	0.00023	-0.02470	2.06698
Estí	120.0	32.0	42.3	Cativá	87.0	40.0	76.2	0.00012	-0.01705	2.10523
Algarrobos	9.0	1.1	2.71	P_{T_c}						
Mendre 1	20.8	2.0	5.43	BLM carbón	120.0	70.0	110.0	0.00001	-0.00271	0.77423
Mendre 2	7.8	1.2	2.45	P_{T_d}						
Gualaca	25.5	2.3	7.96	Termcolón1	50.0	15.0	45.0	0.00210	-0.18320	6.38448
Lor.-Prud.	94.5	5.5	28.2							
P_{H_e}										
Fortuna	300.0	10.0	300.0							

En la tabla 1 se muestran los parámetros de nueve hidroeléctricas de pasada y una de embalse, también termoeléctricas con sus respectivas potencias mínimas y máximas operativas, junto a los coeficientes de la función cuadrática que representan el consumo específico de combustible. La hidroeléctrica de embalse considerada es Fortuna, que cuenta con tres turbinas Pelton de 100 MW cada una, para un total de 300 MW.

En la figura 1 se aprecia la ubicación de las hidroeléctricas de la tabla 1 a lo largo de la cuenca del Río Chiriquí. Las centrales Mendre 1 y Mendre 2 aprovechan las aguas turbinadas por la central hidroeléctrica Los Valles y las centrales Lorena, Prudencia y Gualaca aprovechan las aguas turbinadas por la central Estí.

En la figura 2 se muestran los resultados de la variable $p_{G_{P,t}}$ supliendo a la línea de color negro que representa la demanda D_t . La generación renovable de la figura 2 es de 52.21% que comparado con el despacho real difiere en 1.42 [24]. Ante estos resultados similares al despacho real, es posible validar las ejecuciones del modelo de optimización propuesto y de la muestra de plantas escogidas en la muestra del plantel hidrotérmico real.

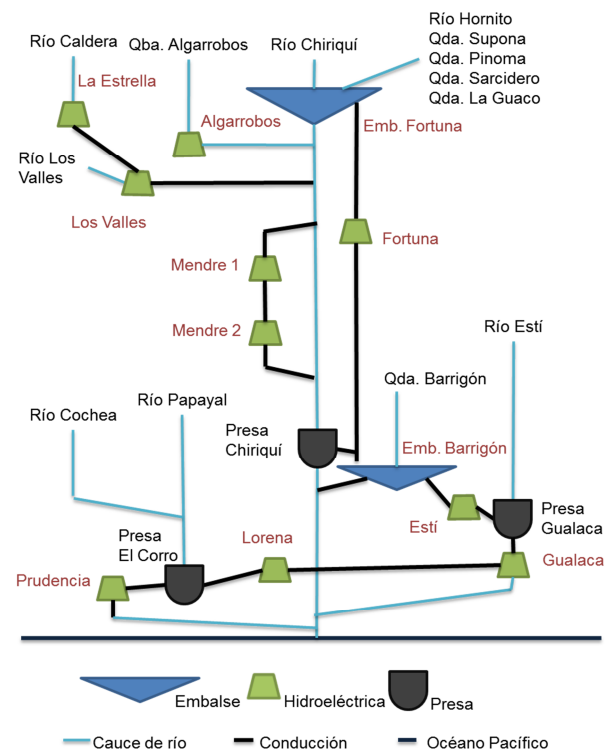


Figura 1. Ubicación de las centrales hidroeléctricas en la cuenca 108 [25].

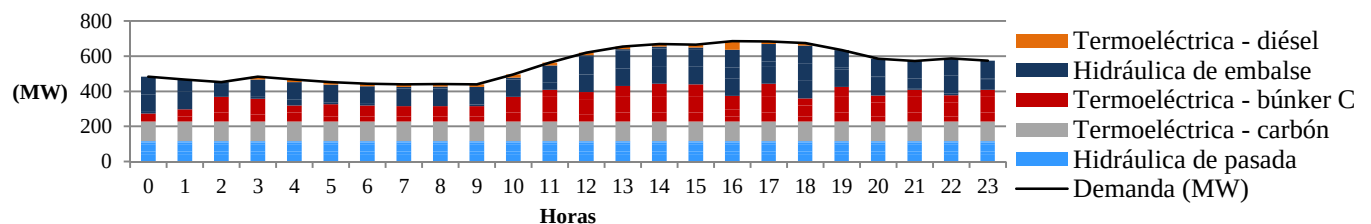


Figura 2. Potencia de cada planta en cada periodo. Resultados del caso 1, hidrotérmico, representativo del 17 de abril de 2013.

3.2 Caso 2: Integración de generación eólica y fotovoltaica en el plantel hidrotérmico

Este caso de estudio, en conjunto con el caso 3 representan los dos escenarios de generación con mayor probabilidad de ocurrencia a partir del año 2018, año en el que se prevé la entrada de una planta de ciclo combinado que utiliza gas natural. Ante un atraso en el inicio de operaciones de este ciclo combinado, se expone este caso 2. El cual considera los proyectos con licencias definitivas [26], los cuales están en construcción o en diseño final. Para este caso se mantienen las plantas expuestas en la tabla 1. En cuanto a la generación eólica se incluyen las tres primeras etapas del parque eólico de Penonomé, es decir 270 MW, compuesto por: Nuevo Chagres 1, Nuevo Chagres 2, Rosa de los Vientos, Portobelo y Maraón. Para la generación fotovoltaica, se consideran los parques: San Juan Chiriquí, El Roble de Aguadulce, Planta solar fotovoltaica Penonomé, Campo Solar Tocumen y Progreso. La sumatoria de la capacidad instalada de cada tipo de tecnología y sus respectivos porcentajes se muestran en la tabla 2. Con esta información se pueden comparar los porcentajes del plantel real previsto considerando todos los proyectos con licencias definitivas junto a la muestra escogida para este caso 2. Demostrando que se mantienen las proporciones. Para este caso es necesario hacer una proyección de la demanda, por lo que se hizo un estudio de demanda máxima mensual, considerando datos del período 2005-2014. A partir de estos datos se pronostica la demanda máxima de potencia para un día de cada mes del año 2018, considerando un crecimiento de 5% anual. Las hidroeléctricas del caso 1 mantienen sus respectivas potencias mínimas operativas. Mientras que para este caso 2 se toma el promedio de la generación mensual histórica del período 2005-2014 para determinar sus potencias máximas.

Tabla 2. Comparación de la capacidad instalada del plantel real previsto en el año 2018 y el plantel del caso 2

Plantas por tipo de tecnología	Capacidad instalada plantel real (MW)	Porcentajes	Capacidad instalada caso 2 (MW)	Porcentajes
Hidroeléctrica de embalse	782.17	43.06%	300.00	41.48%
Hidroeléctrica de pasada	725.44		374.60	
Termoeléctrica de búnker C	401.50	23.89%	238.40	27.57%
Termoeléctrica de carbón	120.00		120.00	
Termoeléctrica de diésel	315.00		90.00	
Aerogeneradores	805.00	33.04%	270.00	30.95%
Solar fotovoltaica	351.56		233.40	
Total	3 500.67		1 626.40	

A diferencia del caso 1, donde se utilizó el valor del agua específico del 13 de abril de 2013 para la central Fortuna, en el caso 2 se utilizan la tendencia anual del 2018 del valor del agua para Fortuna dadas en [15], las cuales se adaptan a los costos del plantel del caso 2. Se mantienen todas las centrales termoeléctricas de la tabla 1 con sus respectivos parámetros, pero varía el costo de combustible, el cual está basado en las proyecciones de la EIA (Administración de Información de Energía de Estados Unidos). La generación de los parques eólicos está basada en la potencia horaria despachada del parque eólico Nuevo Chagres 1, el cual tiene una ubicación muy próxima a los parques Nuevo Chagres 2, Rosa de los vientos, Portobelo y Maraón. Los datos de generación despachada para realizar este estudio corresponden a 15120 horas [24]. La generación horaria de los parques fotovoltaicos se obtiene mediante simulaciones [27], al considerar la radiación solar que proporciona el *software*, para cada coordenada de cada parque fotovoltaico. La figura 3 muestra la energía entregada durante las 24 horas, la figura 4 el aporte de cada tecnología en intervalos horarios.

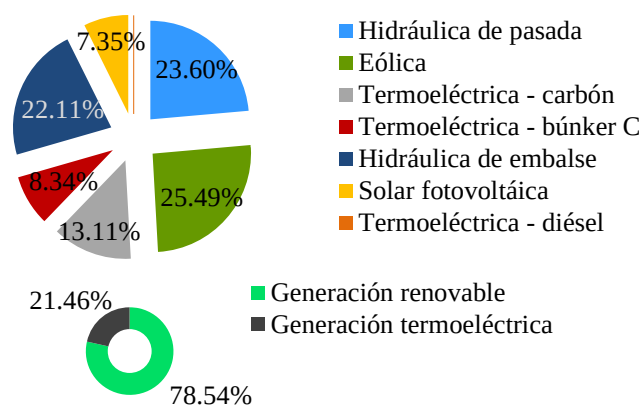


Figura. 3. Energía entregada por tipo de tecnología del caso 2, un día de febrero, con FIPD igual a 1.

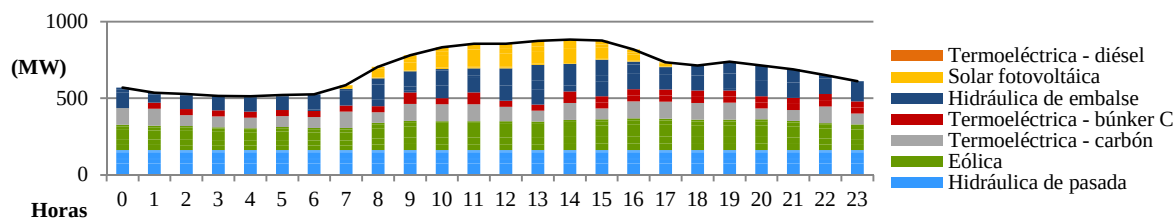


Figura. 4. Potencia de cada planta en cada periodo. Resultados caso 2, hidrotérmico con generación eólica y fotovoltaica día de febrero 2018, con FIPD igual a 1.

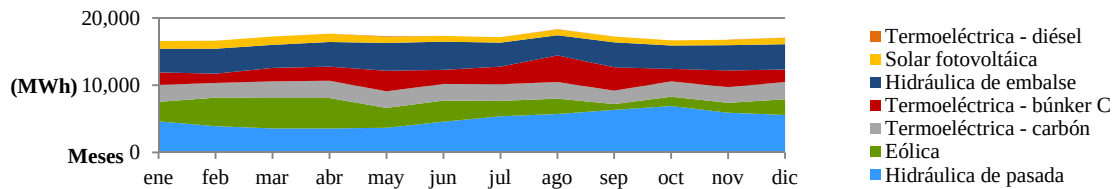


Figura. 5. Energía entregada por cada tipo de tecnología de generación en un día representativo de cada mes. Caso 2.

Se muestran los resultados del día representativo del mes de febrero por tratarse del mes en que se observó la mayor penetración renovable. La energía diaria entregada por el plantel es de 16635.86 MWh, de la cual el 78.54% es renovable.

El mayor porcentaje de generación renovable puede ocurrir también en meses como diciembre o enero ya que la cuenca 108, en donde están las hidroeléctricas de mayor aporte al plantel aún poseen suficiente recurso hídrico para alcanzar un 23.60% de la generación del plantel. Sumado a esto, en los primeros meses del año se da el inicio de la estación seca, caracterizada por tener una mayor radiación solar y abundante recurso eólico debido a los vientos alisios. Estas características climatológicas dan como resultado una mayor generación eólica y solar fotovoltaica durante los primeros meses del año. Siendo la generación eólica muy significativa 25.49%; y la generación solar fotovoltaica con un grado de penetración del 7.35%.

En la figura 5 se presenta el comportamiento de la generación durante cada mes del año 2018, resultado de la energía aportada por cada tipo de tecnología en la optimización del despacho de unidades de un día representativo de cada mes manteniendo el factor FIPD igual a 1. Destaca el hecho de que la generación eólica complementa el déficit de la generación hidráulica de pasada durante los meses de la estación seca, de igual manera la generación hidráulica de pasada complementa a la generación eólica durante los meses de la estación lluviosa.

El recurso solar, si bien está limitado entre las 6 y 18 horas, corresponde de manera muy apropiada a la forma acampanada que presenta la curva de demanda de potencia típica en Panamá, teniendo un aporte importante para las horas de demanda pico; esto se puede apreciar claramente en la figura 4, el aumento de la demanda en estas horas corresponde mayormente a la utilización de aire acondicionado que es coincidente con la irradiación. Las termoeléctricas tienen más aporte en los casos de mayor demanda y en los meses donde existe algún déficit por parte de la generación renovable; esto se aprecia en los casos de mayo, junio, agosto y septiembre. La generación de centrales hidroeléctricas con embalse, es valiosa porque representan una reserva rodante importante durante todos los periodos, es por esto que son útiles para regular los desbalances en la generación renovable intermitente y también son una reserva de energía a largo plazo.

El porcentaje de penetración renovable mínimo se da en agosto, siendo de 64.64%. Cabe destacar que la demanda no es igual para todos los casos, como se aprecia en la figura 5, la energía demandada de este caso de estudio es mayor en los meses de abril y agosto.

La suma de la generación hidráulica de pasada, fotovoltaica y eólica suple más del 40% de la demanda para todos los meses, esta sería generación de costo cero supliendo la energía anual. En general, la generación eólica y fotovoltaica brinda su mayor aporte durante los cinco primeros meses del año, debido a la estación seca; siendo la mayor penetración de estos cinco meses en

marzo (33.55%) y la menor penetración en los meses de la estación lluviosa, como septiembre (10.11%).

3.3 Caso 3: Plantel previsto al incluir generación con gas natural y parques eólicos y fotovoltaicos

Se analiza la entrada del uso del gas natural en la matriz energética, como se prevé para el año 2018. Considerando el inicio de operación de 381 MW de la planta de Gas Natural Atlántico [28]. Para representar la central Gas Natural Atlántico, se toma una central con características similares, ya que esta central no se ha construido, por ende no se tienen mediciones reales de su operación. Se conoce que esta central de ciclo combinado tendrá una configuración (3x1), tres turbinas de gas y una turbina de vapor. Para la representación de la curva de consumo específico de combustible se toma de referencia la central Jersey Central Power and Light Company [29] compuesta de 4 turbinas de gas de 54.9 MW y una turbina de vapor de 129.6 MW. Este ciclo es de 330 MW pero presenta valores de prueba de consumo específico en función del número de turbinas que estén en operación y el porcentaje de carga, por lo que se aproximan estas características para el presente caso.

En la tabla 3 se muestran los datos de entrada que caracterizan a la central de gas natural. Los demás datos de entrada que no corresponden a centrales termoeléctricas se mantienen igual que el caso 2. Se exponen los resultados de un día representativo del mes

de mayo en la figura 6, por tratarse de un mes en que históricamente se despacha una gran cantidad de unidades termoeléctricas ante una baja generación hidroeléctrica causada por la estación seca.

Tabla 3. Parámetros de la planta de gas natural del caso 3.

Configuraciones del ciclo combinado	$P_P^{\min}$ (MW)	$P_P^{\max}$ (MW)	
1 TG + 1TV*	90	160	
2 TG + 1TV	140	260	
3 TG + 1TV	200	360	
Coeficientes de curva de consumo para cada configuración			
Configuración	a_{ccec, P_T}	b_{ccec, P_T}	c_{ccec, P_T}
1 TG + 1TV	0.0002	-0.0948	27.587
2 TG + 1TV	0.00006	-0.0442	24.399
3 TG + 1TV	0.00006	-0.0497	26.901

*Turbina de gas (TG), turbina de vapor (TV).

Se resalta que la generación renovable tiene una penetración del 51.97% a diferencia del 67.73% mostrado en mayo del caso 2 (fig. 5), esta disminución se da principalmente porque la generación con gas natural desplaza a la generación hidroeléctrica de embalse, ya que el costo de oportunidad de la hidroeléctrica de embalse es superior al costo variable de la central termoeléctrica con gas natural, para este periodo de escasez hídrica. Por este motivo el proceso de la optimización tiende a desplazar parte de generación renovable.

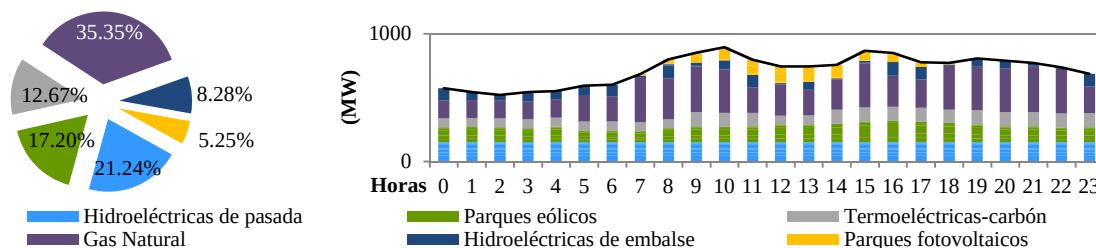


Figura 6. Potencia de cada planta a cada periodo. Resultados caso 3, un día representativo de mayo, con FIPD igual a 1.

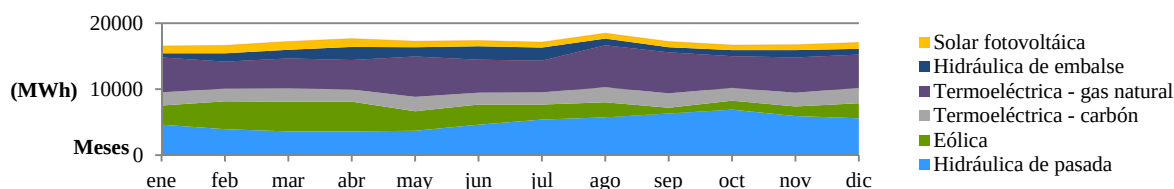


Figura 7. Energía entregada por cada tipo de tecnología de generación en un día representativo de cada mes del año. Caso 2.

Sin embargo, puede esperarse que ante la incertidumbre de la generación eólica y fotovoltaica el

despacho se incline hacia una alta generación con gas natural por motivos de generación firme y eficiencia de

la central de ciclo combinado. Para obtener una distribución anual se ha ejecutado el programa de planificación para un día representativo de cada mes, obteniéndose la gráfica de la figura 7.

La situación de un sistema con generación hidroeléctrica mayoritaria y proyecciones de instalar termoeléctricas de gas natural junto a parques eólicos para complementar el periodo de menor producción hidráulico, fue motivo de investigación de Noruega [30]. En donde se demostró que la generación eólica o la generación con gas natural contribuyen de igual manera al balance energético, tanto semanal como anualmente. En el caso del plantel de generación de Panamá, una central termoeléctrica de gas natural de 381 MW, toma un porcentaje significativo en el despacho y puede desplazar a la generación con unidades de diésel y búnker C. Por otro lado, para el año 2020 se han contratado 350 MW adicionales de generación con gas natural [31], por lo que los porcentajes de generación con gas natural se asemejarán a las proporciones expuestas en este artículo.

Con un plantel de generación como el presentado en el caso 3, se estima que el COE sea aún menor al del caso 2, ya que el costo variable de los ciclos combinados con gas natural es mucho menor que el de las termoeléctricas que utilizan derivados del petróleo, siendo aproximadamente de 60.00 USD/MWh. Al presentarse esta situación el costo de oportunidad de los embalses también disminuirá significativamente, como se muestra en [15], estando alrededor de 80 USD/MWh en el periodo que se requiere almacenar energía en los embalses. A diferencia del caso 2, debido a la integración de la central de Gas Natural Atlántico, se estima que el precio de la energía contratada termoeléctrica se reduzca, ya que la energía contratada de esta planta es de 113.84 USD/MWh [28], siendo menos costosa que la energía termoeléctrica contratada de la tabla 5. Esto demuestra que debe presentarse una evidente disminución en el pago de la energía eléctrica por parte de los consumidores. Como resultado final de las ejecuciones, en la tabla 4 se compara el costo promedio mensual para cada caso de estudio, al dividir la energía total entregada entre la suma de C_{Pr} vista en (1) y C_{Op} vista en (2). Estos resultados demuestran que la penetración de generación eólica y fotovoltaica abaratarán los costos del despacho y al sustituir la generación con combustibles fósiles con gas natural se

puede esperar otra disminución en el costo de generación.

Tabla 4. Resultados del costo promedio mensual (USD/MWh)

Mes	caso 1	caso 2	caso 3	Mes	caso 1	caso 2	caso 3
ene.	-	71.97	66.8	jul.	-	66.89	54.99
feb.	-	55.24	52.14	ago.	-	66.41	54.26
mar.	-	74.02	51.57	sep.	-	71.26	56.52
abr.	136.44	77.01	53.36	oct.	-	62.18	54.93
may.	-	89.16	64.02	nov.	-	68.07	53.14
jun.	-	75.09	81.25	dic.	-	61.23	54.37

3.4 Impacto de la generación eólica y solar fotovoltaica en el Mercado Eléctrico

Según [32], el mercado eléctrico de Panamá está estructurado en dos principales partes: 1) el Mercado de Contratos, donde se realizan las transacciones comerciales de mediano y largo plazo y 2) El Mercado Ocasional donde se realizan transacciones comerciales de energía horaria, de corto plazo. Siendo independiente el Mercado de contratos del Mercado Ocasional.

Para observar el impacto de la penetración renovable en el COE, llamado en Panamá costo marginal del sistema (CMS), en la figura 10 se presenta el COE real del miércoles 10 de febrero de 2016 (día con 57.2% de penetración renovable, siendo 17.0% la suma de generación eólica y fotovoltaica) y el miércoles 4 de mayo de 2016 (día con 46.7% de penetración renovable, siendo 0.8% la suma de la generación eólica y fotovoltaica, pero requiriendo de generación con diésel durante las 24 horas del día y de otra pequeña unidad de generación desde las 9 a las 16 horas, la cual aporta solo el 0.2% de la energía diaria pero encarece el COE de manera significativa). Según [32], el precio de la energía horaria del Mercado Ocasional con el costo variable aplicable al despacho de la última oferta requerida por el despacho de precio para cubrir la demanda con calidad. Esto sin tomar en cuenta restricciones de transmisión.

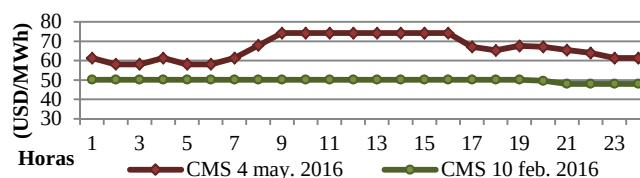


Figura 8. Comparación gráfica del CMS, año 2016 [24].

Al comparar ambos días en la figura 8, se observa que ante una mayor penetración renovable, el COE disminuye considerablemente. Inclusive, se puede prescindir de la generación termoeléctrica más costosa mostrada entre las 9 y 16 horas del día de mayo. Para situaciones futuras, como la que se presenta en este caso de estudio, donde se da una mayor penetración renovable, es de esperarse una mayor disminución en el COE, que es el precio del mercado ocasional.

Se estima el precio de la energía contratada según [33]. Se calcula este precio con (33) para dos escenarios de precios de combustibles semestre I – 2014 y semestre I – 2016 [34].

$$PEC(i) = PEC(0) \cdot (1 - FAJU) + PEC(0) \cdot FAJU \cdot \left(\frac{IndREF(i)}{IndREF(0)} \right) \quad (33)$$

El factor de ajuste, FAJU se considera 0.8 para todos los cálculos. El precio de la energía contratada, claramente depende de cada empresa y de la indexación que se tenga en el momento según el precio del combustible. Aún teniendo precios bajos de combustible, se demuestra que hay contrataciones de energía eólica y fotovoltaica con precios inferiores a los de la generación convencional. Siendo la generación eólica y fotovoltaica económicamente competentes en el plantel de generación de Panamá.

Tabla 5. Precio de energía en el periodo inicial y estimación del precio de energía contratada (USD/MWh), de cada tecnología de generación: primer semestre de 2014 (precios de combustibles altos), primer semestre 2016 (precios de combustibles bajos)

Plantas por tecnología	PEC(0)	PEC(i) Sem I 2014	PEC(i) Sem I 2016
P _{Hp}	104.50	104.50	104.50
P _E	98.00	98.00	98.00
P _{Tc}	109.20	200.85	116.07
P _{Tb}	171.91	164.03	79.15
P _{He}	109.50	109.50	109.50
P _F	86.00	86.00	86.00
P _{Td}	201.40	211.03	110.80

* El precio promedio semestral del barril de petróleo crudo (West Texas Intermediate) – Cushing, Oklahoma según [35] fue de 101.05 USD/bbl en el Sem. I de 2014 y de 39.30 USD/bbl en el Sem. I de 2016.

4. Conclusiones

Históricamente, al considerar un plantel solamente hidrotérmico, como el caso 1, se presentan tres meses críticos para la generación renovable (habitualmente marzo, abril y mayo), resultando en un despacho más

costoso al ser más dependiente de la generación termoeléctrica y más riesgoso al depender del despacho del agua de los embalses. En contraste con los casos que incluyen generación eólica y fotovoltaica, este periodo crítico para la generación renovable se ve disminuido debido a la complementariedad de los recursos renovables, de no integrar este tipo de generación, esta porción de la demanda sería suplida por termoeléctricas costosas y contaminantes. Esta complementariedad propicia la reevaluación de la distribución anual del uso del agua de los embalses y con esto el valor del agua asociado a los mismos, ya que al tener un plantel de generación menos dependiente de la energía de los embalses, el valor del agua puede ser menor en ciertos periodos del año y por ende el COE, en los periodos en que las unidades hidroeléctricas de embalse determinan el COE. Al instalar parques eólicos y fotovoltaicos, es posible obtener una mayor penetración renovable durante todo el año y sostener la misma superior al 60%, complementándose con la generación hidráulica de pasada y de embalse.

En esta investigación se ha demostrado que ante el crecimiento de la demanda junto a la integración de proyectos eólicos y fotovoltaicos es posible prescindir de la generación termoeléctrica más ineficiente, después de la instalación de un gran número de parques. Mientras que conviene utilizar las centrales hidroeléctricas con embalse para regular los cambios bruscos de la demanda o de la generación intermitente.

En el caso 3 se expone que al tener una planta termoeléctrica de gran tamaño dentro del sistema se puede contar con una reserva rodante confiable, sobre todo por las rápidas rampas de subida y de bajada que normalmente caracterizan a las centrales de ciclo combinado con gas natural. En cuanto a la reserva fría, en cada periodo se cuenta al menos con una unidad de hidroeléctrica de embalse que pueden sincronizarse y aumentar la potencia en pocos segundos.

5. Agradecimiento

Agradecemos el generoso soporte de los profesores de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Panamá, Dr. José Atencio G. y Dra. Jessica Guevara C.

6. Referencias

- [1] Centro Nacional de Despacho, “Informe de generación de energía, 2015.” [En línea]. Disponible en:

- <http://www.cnd.com.pa/informes.php?cat=2>. [Último acceso: 15 de enero de 2016].
- [2] B. Wright, "A Review of Unit Commitment," 28 Mayo 2013.
 - [3] C. E. Piemonti Arandia, "Programación diaria de un conjunto de generación de electricidad bajo condiciones de mercado," Sartenejas, 2005.
 - [4] G. Morales- España, J. M. Latorre y A. Ramos, "Tight and Compact MILP Formulation of Start-Up and Shut-Down Ramping in Unit Commitment.," de IEEE Power & Energy Society General Meeting, Vancouver, 2013.
 - [5] Y. A. Tobón Rios y A. M. Uribe Arteaga, "Universidad Tecnológica de Pererira," 2007. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/730>.
 - [6] C. Cardozo, "Unit Commitment with uncertainties - State of the art," de Journées JCGE'2014 -SEEDS, Saint Louis, Francia, 2014.
 - [7] E. Ibanez, G. Brinkman, M. Hummon y D. Lew, "A Solar Reserve Methodology for Renewable Energy Integration Studies Based on Sub-Hourly Variability Analysis.," de 2nd Annual International Workshop on integration of Solar Power into Power Systems Conference, Lisboa, Portugal, 2012.
 - [8] H. Quan, D. Srinivasan, A. Khambadkone M. y A. Khosravi, "A computational framework for uncertainty integration in stochastic unit commitment with intermittent renewable energy sources." *Applied energy*, pp. 71-82.
 - [9] C. Tian-qiong y L. Geng-yin, "A Short-term Joint Optimal Dispatching Method of Wind Farms, Photovoltaic Generations, Hydropower Stations and Gas Power Plants.," de International Conference on Power System Technology (POWERCON), Chengdu, China, 2014.
 - [10] A. Hamann y G. Hug, "Integrating Variable Wind Power Using a Hydropower Cascade," de 5th International Workshop on Hydro Scheduling in Competitive Electricity Markets, Trondheim, Noruega, 2016.
 - [11] Banco Mundial, "Promedio detallado de precipitaciones," [En línea]. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?view=map>.
 - [12] AIMMS, Licencia Académica. Disponible en: <https://aimms.com/english/developers/downloads/download-aimms/>
 - [13] Centro Nacional de Despacho, ETESA, "Informe de predespacho diario," Panamá.
 - [14] Centro Nacional de Despacho, "Metodologías de Detalle," [En línea]. Disponible en: <http://www.cnd.com.pa/documentos.php?sec=1>. [Último acceso: Mayo 2015].
 - [15] Centro Nacional de Despacho, ETESA, "Informe de Planeamiento Operativo del Sistema Interconectado Nacional," Panamá.
 - [16] S. S. Reddy, B. Panigrahi, R. M. R. Kundub y S. Debchoudhury, "Energy and spinning reserve scheduling for a wind-thermal power system using CMA-ES with mean learning technique," *Electrical Power & Energy Systems*, 2013.
 - [17] M. Milligan, P. Donohoo, D. Lew y E. Ela, "Operating Reserves and Wind Power Integration: An International Comparison," Québec, 2010.
 - [18] E. Ela, M. Milligan y B. Kirby, "Operating Reserves and Variable Generation," National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2011.
 - [19] J. King, B. Kirby, M. Milligan y S. Beuning, "Operating Reserve Reductions from a Proposed Energy Imbalance Market With Wind and Solar Generation in the Western Interconnection.," National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2012.
 - [20] K. Van den Bergh, K. Bruninx, E. Delarue y W. D'haeseleer, "A Mixed-Integer Linear Formulation of the Unit Commitment Problem," University of Leuven (KU Leuven) - Energy Institute, 2013.
 - [21] Centro Nacional de Despacho, "Reglamento de Operación".
 - [22] Comisión Europea, "Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009.," Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2009-81013>
 - [23] S. Quoilin, I. Hidalgo Gonzalez, A. Zucker y C. Thiel, "Disponible en technical flexibility for balancing variable renewable energy sources: case study in Belgium.,"
 - [24] Centro Nacional de Despacho, "Informe de posdespachos diarios".
 - [25] Empresa de Transmisión Eléctrica S.A., "Optimización de los recursos hidráulicos ríos Caldera y Chiriquí.," Panamá.
 - [26] Autoridad de los Servicios Públicos, "Licencias definitivas para generación – 2015. ASEP.," [En línea]. Disponible en: http://www.asep.gob.pa/electric/Anexos/resumen_eolico_termico.pdf.
 - [27] PVsyst, "Software de simulación de parques fotovoltaicos. Versión de prueba.,"
 - [28] Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A., "Resolución de adjudicación LPI ETESA 01-15.,"
 - [29] "The STAG Combined-Cycle Power Plant. Jersey Central Power and Light Company.," [En línea]. Disponible en: http://www.me.psu.ac.th/Power_Plant_Engineering/P8i.htm.
 - [30] J. Olav Gjøaver Tande y M. Korpas, "Impact of Offshore Wind Power on System Adequacy in a Regional Hydro-based Power System with Weak Interconnections," de Deep Sea Offshore Wind R&D Conference, 2012.
 - [31] Empresa de Transmisión Eléctrica, "Resolución de adjudicación LPI ETESA 02-15.,"
 - [32] Centro Nacional de Despacho, "Reglas Comerciales". Disponible en: http://www.cnd.com.pa/documentos/reglas_comerciales_actualizadas_a_octubre_2016.pdf
 - [33] ETESA, "Informe de Contrataciones 2015-2035." Disponible en: http://www.etsa.com.pa/compras_documentos_ver.php?id=8&gen=1.
 - [34] Centro Nacional de Despacho, "Datos de despacho semanal histórico.,"
 - [35] Energy Information Administration, "Precios del Crudo de Petróleo (WTI)".

Estudio del período de vibración de puentes de concreto en Panamá

Study of vibration period for concrete bridges in Panama

Stephania M. Rodríguez^{1*}, José M. Gallardo², Osvaldo A. Araúz³

^{1,2,3}Grupo de investigación: Salud Estructural de Puentes, Universidad Tecnológica de Panamá

¹stephania.rodriguez@utp.ac.pa, ²jose.gallardo@utp.ac.pa, ³osvaldo_02_507@hotmail.com

Resumen— El comportamiento estructural de los puentes puede verse afectado por el paso del tiempo y el flujo vehicular, por lo que es importante contar con sistemas de monitoreo estructural que alerten sobre posibles daños, y provean indicativos sobre la necesidad de llevar a cabo medidas de mantenimiento y reparación. En este documento se presenta un estudio del comportamiento dinámico de dieciséis (16) puentes de concreto en la República de Panamá. Durante esta investigación, se monitoreó la frecuencia de vibración de los puentes utilizando sensores económicos ensamblados en placas tipo Arduino. Como resultado del monitoreo se encontró una fuerte correlación entre la longitud de los puentes y sus respectivos períodos de vibración; así, independientemente del tipo de viga que forma parte de la estructura del puente, el periodo de vibración puede ser estimado en función de las luces del puente. Adicionalmente, se identificó puentes que muestran un comportamiento que se aleja de la tendencia general.

Palabras claves— frecuencia, identificación estructural, puente, vibración.

Abstract— Structural integrity of bridges are affected by age and by traffic. Structural monitoring systems that can detect the presence or the possibility of damage can provide useful information on the when to conduct maintenance and repair. The vibrational frequencies of sixteen concrete bridges in Panamá were monitored using inexpensive sensors assembled from Arduino plates.

The results of the study indicate a strong correlation between bridge length and period of vibration which was independent of the type of beams used in construction. Additional study was made on the few bridges which did not follow this pattern.

Keywords— frequency, structural identification, bridge, vibration.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 25 de agosto de 2016

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

Al monitorear el comportamiento dinámico de los puentes, se puede detectar potenciales daños; estimando así el nivel de salud estructural. Los cambios en la respuesta a excitaciones dependen de la naturaleza, localización y la severidad del daño, por lo que el monitoreo dinámico continuo en las estructuras ayuda a detectar, localizar y cuantificar el daño; y así llevar a cabo un mantenimiento proactivo y estimación del nivel de salud estructural [1].

En este proyecto, la señal registrada experimentalmente es adquirida, por el sensor que se conecta a la estructura, como respuesta a una excitación inducida, o a las fuerzas ambientales a las que está expuesto el puente.

El campo de estudio dinámico predictivo está mostrando un progreso rápido [2], en cuanto a los temas de mantenimiento de obras de infraestructura vial.

La infraestructura de puentes carreteros panameños se estima en más de 60 años de servicio, en los cuales el flujo vehicular se ha incrementado al igual que la capacidad de carga por vehículo. Muchos de los puentes con afectaciones estructurales están ubicados en lugares apartados del interior del país, lo que dificulta darles el mantenimiento requerido y garantizar que no los utilicen camiones con carga excesiva.

"En Panamá se estima un inventario de 1882 puentes vehiculares y 206 puentes peatonales, con unos 56 889.61 y 6670.31 metros lineales, respectivamente. De los cuales en la última década han colapsado más de 15 puentes en diferentes provincias del país." [3]

Con esta investigación se desea establecer una línea base o de referencia sobre el comportamiento dinámico de estos puentes, de manera que en el futuro se involucren más puentes y se dé un seguimiento de aquellos que ya son parte del estudio, dando paso a una actualización continua de la información la cual requiere de un manejo, filtrado e interpretación adecuada de la señal registrada, con la intención de predecir fallas y las causas de las mismas.

2. Programa experimental

Este estudio incluye resultados del análisis de 16 puentes de concreto que se encuentran en la carretera panamericana. Estos puentes son un subgrupo de los puentes estudiados [4], en donde se incluyen 6 puentes con estructura de acero y 16 puentes con estructura de concreto, iniciando desde el río Chico en el distrito de Boquerón; hasta el río Tolé, ubicado en el distrito de Tolé (ver figura 1).

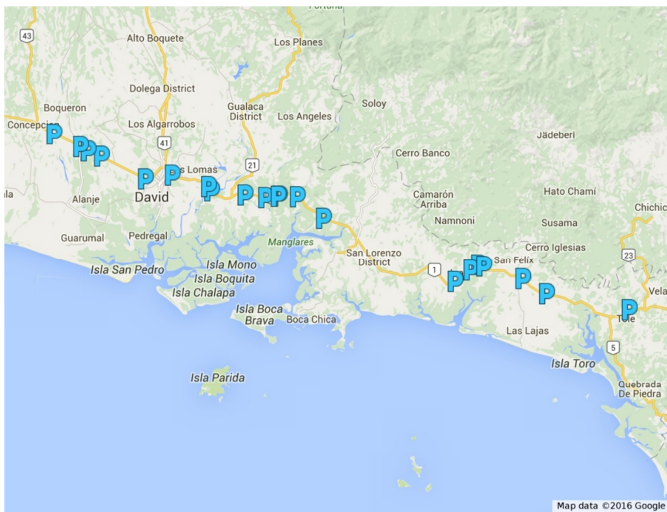


Figura 1. Puentes estudiados por Araúz y Rodríguez (2016).

En cada puente se registró el tipo de estructura, características geométricas, año de fabricación y observaciones relacionadas con el estado de la estructura. En la figura 2 se muestra un esquema de las dimensiones registradas como parte del estudio.

Adicionalmente, para registrar la vibración, cada puente se instrumentó utilizando un acelerómetro (ver figura 3). La configuración del sistema de monitoreo de aceleraciones se detalla en la sección 2.1. Las aceleraciones registradas corresponden a la vibración de

la estructura al ser sometida al tráfico vehicular de carga pesada que se presenta de manera diaria en estas vías.

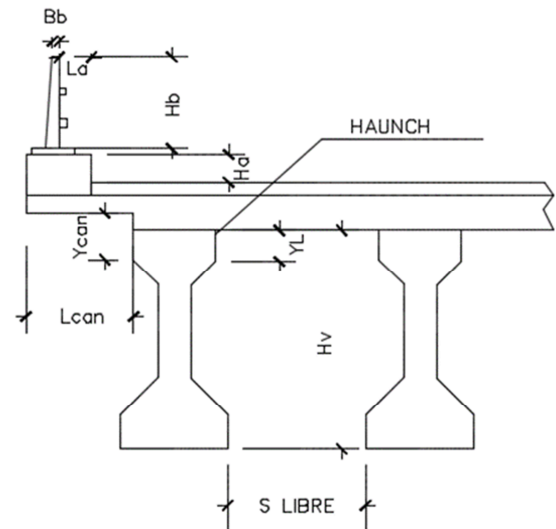


Figura 2. Representación geométrica de los datos tomados en campo.



Figura 3. Acelerómetro durante el monitoreo.

2.1 Sistema de monitoreo de aceleraciones

Durante las pruebas en campo se utilizaron dos equipos para monitorear las vibraciones, colocados en el punto medio y en un cuarto de la luz de cada puente. Cada equipo está formado por una placa Arduino Uno, un sensor ADXL335 (acelerómetro) y una computadora portátil conectada a la placa Arduino mediante cable USB. En la figura 4 se muestran el acelerómetro y la placa Arduino utilizados.

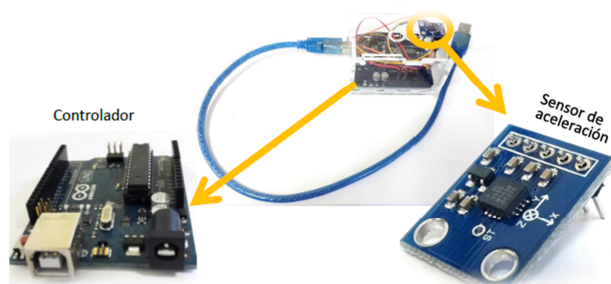


Figura 4. Microcontrolador Arduino Uno y sensor acelerómetro ADXL335.

La conexión USB entre la placa Arduino y la computadora portátil (*software* disponible en <http://www.arduino.cc>) se utilizó para para transmitir datos, cargar códigos y como fuente de poder para el microcontrolador. Los datos de aceleración se registraron cada 5 milisegundos, utilizando una velocidad de transmisión de 38400 bits por segundo, y se almacenaron en un archivo de texto separado por comas para luego ser analizado en hojas de cálculo de Excel. Descripciones más detalladas sobre la configuración del sistema se pueden encontrar en Araúz y Rodríguez [4].

2.2 Postprocesamiento

Para identificar los modos principales y espectros de frecuencia – amplitud, se aplicó la transformada rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés) a los datos de aceleración. Se utilizó la FFT debido a que es una herramienta que permite hacer un análisis rápido y confiable de los datos, puntos que eran de interés debido a la gran cantidad de puentes a instrumentar. La FFT se aplicó a una zona concreta de los datos, o ventana de tiempo, en la cual se observa un registro de aceleraciones típico de la vibración amortiguada (ver figura 5).

Mediante el análisis se obtiene el contenido de frecuencias vibratorias del puente. Para la mayoría de los puentes se puede observar claramente un valor máximo que ocurre en frecuencias bajas (distintas de cero), el cual se interpreta como el primer modo de vibración del puente. Por ejemplo, en la figura 6 se muestra el contenido de frecuencias del nuevo puente sobre el río Chico, para el cual se determinó un primer modo de vibración de 1.66 Hz.

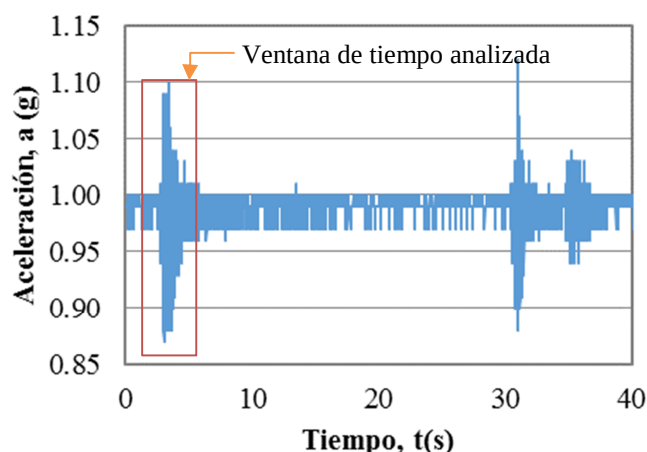


Figura 5. Aceleración y tiempo de la prueba para el puente sobre el río Chico.

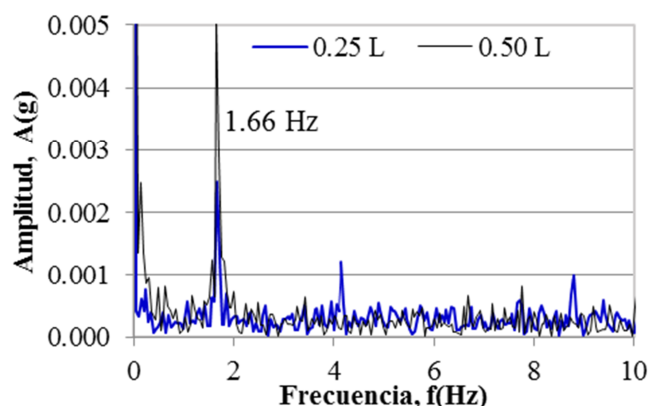


Figura 6. Contenido de frecuencia obtenido para el nuevo puente sobre l río Chico. Longitud 80.20 m.

3. Resultados

Con los datos geométricos de las estructuras, registrados en la bitácora del monitoreo, se clasificó los puentes según la sección transversal de las vigas que forman parte de su estructura. Durante este estudio se incluyó las siguientes categorías:

- AASHTO IV,
- NU (puentes con vigas NU190, NU160, y NU90),
- Vigas especiales (puentes con vigas Cajón o Losa Sólida).

En la figura 7 se muestra la cantidad de puentes registrados por categoría (tipo de viga). En la figura 8 se muestra la cantidad de puentes según el año de fabricación (para los puentes que no cuentan con una placa indicando el año de construcción se incluyó la categoría de “desc.”).

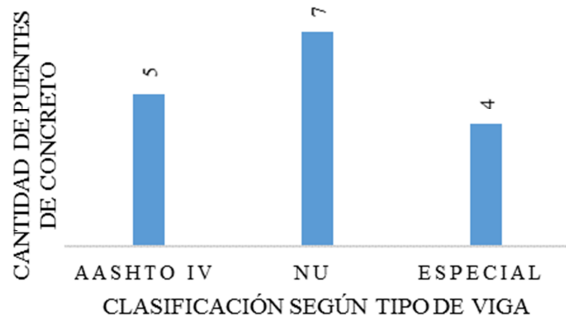


Figura 7. Cantidad de puentes respecto a su tipo de estructura.

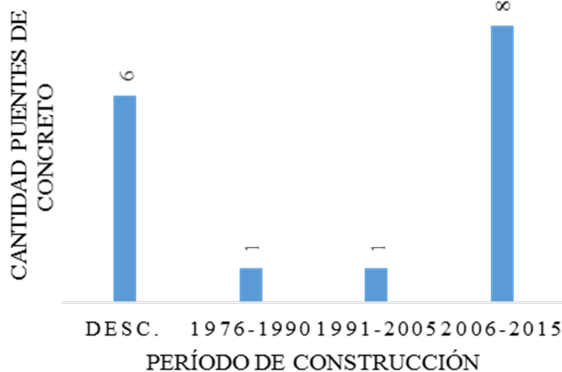


Figura 8. Cantidad de puentes respecto a su año de construcción.

Las frecuencias obtenidas para cada puente se presentan en la tabla 1. Adicionalmente, en esta tabla se presenta el código propuesto para los puentes (conformado por los últimos seis dígitos de las coordenadas del puente en sistema UTM), la luz del puente y el período de vibración del puente.

3.1 Análisis de resultados

La vibración de un puente depende de muchas variables, por lo cual, su estudio exhaustivo es complejo. Sin embargo, el estudio de la vibración libre de una viga prismática homogénea simplemente apoyada, con comportamiento lineal elástico, es significativamente más sencillo, y depende solamente de tres parámetros (1) la rigidez flexionante (EI), (2) la masa por unidad de longitud (m), y (3) la longitud de la viga (L).

Tabla 1. Valores de longitud, frecuencia natural y períodos

	Código	Puente sobre:	[tramo] Luz (m)	f (Hz)	T (s)
PUENTES CON VIGA TIPO AASHTO	P324440-939760	Río Chico	[a]18.50	6.10	0.16
			[b]45.70	2.29	0.44
			[c]16.00	5.71	0.17
	P330300-936810	Río Chirigagua	36.00	2.83	0.35
	P332610-935900	Río Platanal	38.00	2.98	0.34
	P340130-931970	Quebrada san Cristóbal	25.60	2.83	0.35
PUENTES CON VIGA TIPO ESPECIAL	P350970-930610	Río Brazo de Gómez	35.00	3.32	0.30
	P324430-939780	Río Chico (nuevo puente)	80.20	1.66	0.60
	P329010-937560	Río Caimito	16.30	5.86	0.17
	P351520-929900	Río Chiriquí	90.00	1.27	0.79
	P370750-925160	Río Corrales	[f]15.00	6.35	0.16
			[e]20.00	6.44	0.15
			[d]25.00	2.4	0.41
			[c]25.00	2.64	0.38
			[b]20.00	6.88	0.14
			[a]15.00	6.79	0.15
PUENTES CON VIGA TIPO NU	P362980-928910	Quebrada Chorchita	40.90	2.49	0.40
	P363190-928970	Quebrada Gallinas	20.60	5.08	0.20
	P396070-916160	Río Juay	38.00	2.78	0.36
	P397420-917090	Río Galiqué	40.00	2.44	0.41
	P398270-916800	Río Dupí	[b]38.25	2.73	0.37
			[a]23.50	6.20	0.16
	P405010-914650	Río San Félix	[a]38.25	2.83	0.35
			[b]27.00	5.22	0.19
			[c]27.00	4.49	0.22
			[d]38.25	2.73	0.37
	P409100-912060	Río Santa Lucía	45.00	2.34	0.43

Durante este estudio, para puentes de concreto, se propone verificar el efecto del más simple de estos parámetros, la longitud del puente.

Al verificar la relación entre la longitud de los puentes de concreto, y la frecuencia de vibración de los mismos, se notó una tendencia a la disminución de la frecuencia de vibración con el aumento de la longitud del puente, independientemente del sistema estructural (tipo de viga) del puente (ver figura 9). Esta tendencia concuerda con la teoría de vibración de vigas, y es el comportamiento esperado si se aislara el efecto de la longitud. El hecho de que la tendencia sea clara, aun cuando se trata de varios puentes con diversas secciones transversales, indica que la longitud del puente es el parámetro que más efecto tiene sobre la vibración de los 16 puentes estudiados.

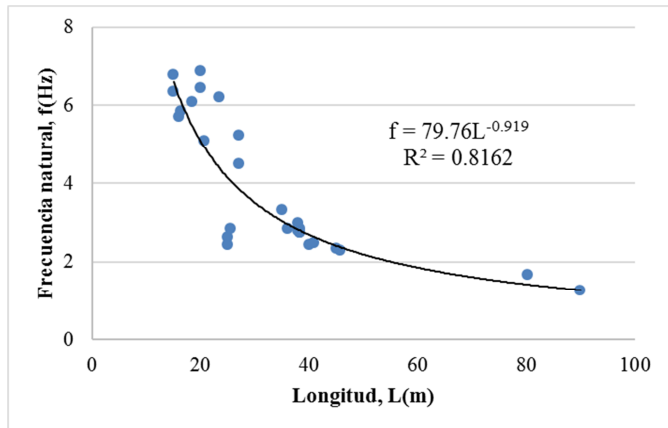


Figura 9. Longitud vs frecuencia. Datos de estructuras de concreto (n=27).

En la figura 10 se muestra la correlación entre la longitud y el periodo de vibración del puente (T), el cual es un parámetro conveniente, ya que se observó una correlación lineal con la longitud del puente. La ecuación que relaciona los parámetros de longitud y periodo, para la muestra global de los puentes de vigas de concreto, se estimó como:

$$T_E = 1s \left(\frac{L}{100 \text{ m}} \right) \quad (1)$$

Donde T_E representa el periodo esperado y L la longitud de las luces.

De esta relación y las muestras, se obtiene un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.83$; lo cual representa la fracción de variación total de los periodos medidos que puede ser explicado por medio de este

modelo lineal con origen 0,0. Representando así la bondad de ajuste de este modelo de regresión, siendo esta representativa para valores por encima de 0.70 [5].

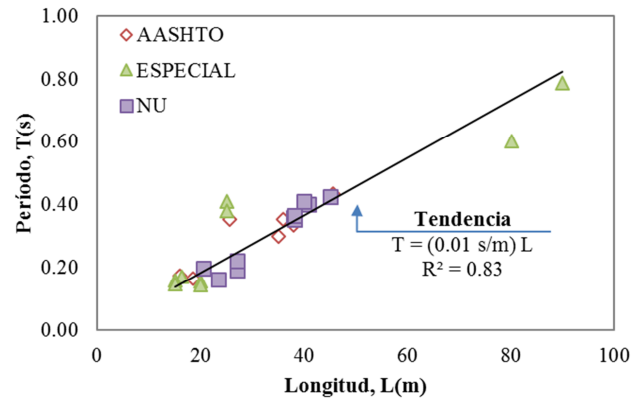


Figura 10. Período de vibración vs longitud (n = 27).

3.2 Período máximo esperado

Algunos tipos de deterioro estructural causan la reducción de la rigidez de los puentes, lo cual a su vez resulta en un aumento del periodo de vibración natural de los puentes. En el análisis, algunos de los puentes presentan periodos de vibración inferiores a la tendencia general, esto debido a que el comportamiento del puente depende de muchas variables que pueden presentar variación similar a la de una distribución estándar. En la figura 12 se observa que el puente P370750-925160 presenta un periodo de vibración de 0.14 s (30% por debajo de la tendencia). Entre los principales factores que influyen en este comportamiento pueden estar: una alta rigidez del concreto utilizado, un cambio en las condiciones de apoyo (pérdida de la condición de apoyo simple), o simplemente que se haya utilizado una viga con una rigidez mayor a la utilizada en otros puentes de similar longitud; sin embargo, se requiere de una evaluación profunda del puente para determinar cuál (o cuáles) de los factores han causado esta tendencia.

La desviación observada para algunos puentes, los cuales muestran periodos mayores a lo esperado, puede deberse a diversas causas, entre estas está el daño estructural. En las figuras 11, 12 y 14 se muestran los periodos de los puentes obtenidos experimentalmente. En rojo se muestran los datos de puentes cuyos periodos se desvían considerablemente de la tendencia general. Para determinar los rangos aceptables de varianza de los valores de respuesta dinámica de las estructuras, se

propone el cálculo un valor que se considerara como el período máximo esperado (PME), como se describe a continuación:

- Para cada puente se calcula un factor que establece el radio de los períodos de los sistemas estructurales tomados durante el monitoreo, entre el valor de la ecuación lineal de tendencia general de los puentes, así:

$$\bar{F}_{e/t} = \frac{\text{valor experimental}}{\text{tendencia}} = \frac{T_{\text{observado}}}{1s\left(\frac{1}{100\text{ m}}\right)} \quad (2)$$

- Del grupo de valores $F_{e/t}$, obtenidos para todos los puentes, se calcula el promedio ($\bar{F}_{e/t}$) y el coeficiente de variación (COV_F). Estos parámetros sirven de referencia para identificar períodos que se alejan de la tendencia, ya que aproximadamente el 84% de los valores de $F_{e/t}$ (si consideramos una distribución normal) se registrarán por debajo de:

$$(1 + COV_F) \cdot \bar{F}_{e/t} \quad (3)$$

- Período Máximo Esperado: La ecuación de esta nueva línea de tendencia, se puede describir utilizando el coeficiente de variación del factor $F_{e/t}$, como sigue:

$$PME = (1 + COV_F) \cdot T_E \quad (4)$$

Los resultados del planteamiento anterior se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Valores estadísticos

Función	Valor
$\bar{F}_{e/t}$	0.97
COV_F	0.23
$(1 + COV_F)$	1.23

Utilizando el procedimiento propuesto para la determinación del período máximo esperado y reemplazando, se obtiene:

$$PME = 1s\left(\frac{L}{80\text{ m}}\right) \quad (5)$$

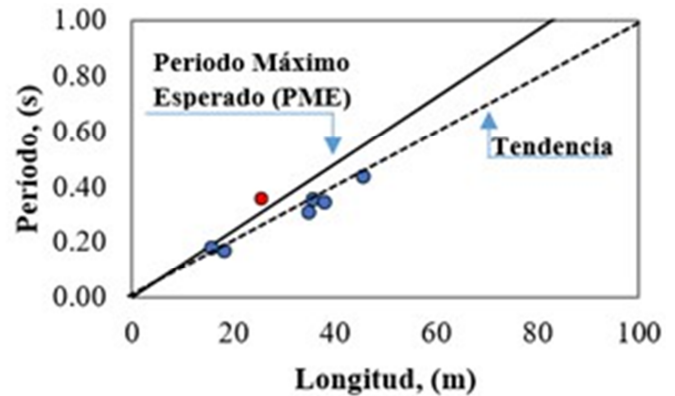


Figura 11. Período de vibración vs longitud - puentes con viga AASHTO IV (n = 7).

En la figura 11 se observa que uno de los puentes con viga tipo AASHTO muestra un período de vibración que se aleja más de una desviación estándar del comportamiento promedio de los puentes estudiados; específicamente, P340130-931970 muestra un período mayor al período máximo esperado (PME). Adicionalmente, el período de vibración del puente P324440-939760[c], es marginalmente inferior al PME.

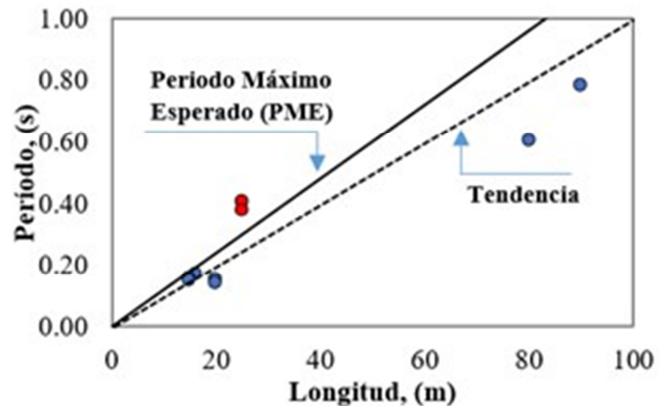


Figura 12. Período de vibración vs longitud - puentes con vigas especiales (n=9).

Para los sistemas de vigas especiales, las luces internas del P370750-925160 marcan valores por encima del límite superior de respuesta dinámica para los períodos (ver figura 12).

El PME no debe ser utilizado como un indicador definitivo de daño, sin embargo, este parámetro puede ayudar a seleccionar los puentes que deben ser evaluados estructuralmente para establecer si existe daño, y cuál es la capacidad de carga del puente.

En la figura 13 y 14 se observan el estado actual de los puentes que presentan período por encima del PME. A simple vista no se observa un daño significativo; sin embargo, tomando en cuenta la desviación de la frecuencia se consideran como candidatos para estudios más profundos sobre la capacidad del puente.



Figura 13. Vista bajo el Puente 340130-931970.



Figura 14. Vista bajo el puente 370750-925160.

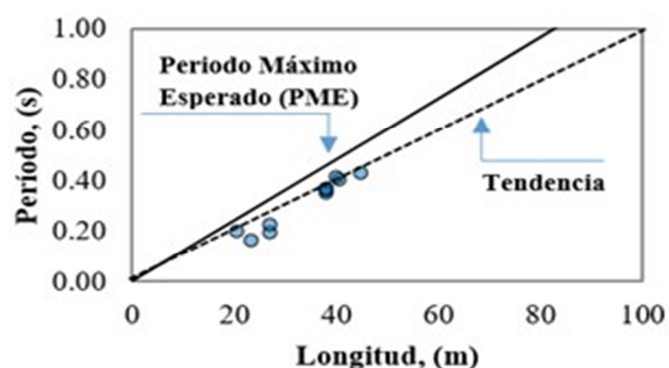


Figura 15. Período de vibración vs longitud - puentes con viga NU ($n = 11$).

Tabla 3. Valores Medida/Tendencia por tipo de viga

	Código	Medida/Tendencia
PUENTES CON VIGA TIPO AASHTO	P324440-939760	[a]0.9
		[b]0.9
		[c]1.0
	P330300-936810	1.0
	P332610-935900	0.9
	P340130-931970	1.4
PUENTES CON VIGA TIPO ESPECIAL	P350970-930610	0.9
	P324430-939780	0.7
	P329010-937560	1.0
	P351520-929900	0.9
	P370750-925160	[f]1.0
		[e]0.8
		[d]1.6
		[c]1.5
		[b]0.7
		[a]1.0
PUENTES CON VIGA TIPO NU	P362980-928910	1.0
	P363190-928970	1.0
	P396070-916160	0.9
	P397420-917090	1.0
	P398270-916800	[b]1.0
		[a]0.7
	P405010-914650	[a]0.9
		[b]0.7
		[c]0.8
		[d]1.0
	P409100-912060	0.9

Los puentes con sistemas de vigas tipo “Nebraska University” (NU) marcan períodos por debajo del PME (ver figura 15). Estos puentes son de reciente construcción en la vía interamericana.

3.3 Factor Medida/Tendencia

Se establece un factor los períodos de los sistemas estructurales tomados durante el monitoreo, entre el valor de la ecuación lineal de tendencia del gráfico para las luces de cada sección del puente; para determinar los rangos aceptables de varianza de los valores de respuesta dinámica de las estructuras.

4. Conclusiones

Como parte de este estudio se puede concluir lo siguiente:

1. El monitoreo de aceleraciones en 16 puentes de concreto permitió estimar la frecuencia natural de vibración de los mismos.
2. Se observó una fuerte correlación ($R^2 = 0.83$) entre la longitud y el período de vibración de los puentes de concreto estudiados, aún para secciones con diferentes propiedades y métodos constructivos.
3. El período de los puentes de concreto estudiados se puede estimar como $T_E = 1 s \left(\frac{L}{100 m} \right)$.
4. En algunos puentes se observó períodos de vibración alejados de la tendencia general, específicamente, los puentes P340130-931970 y P370750-925160 cuentan con un período de vibración mayor al período máximo esperado (PME). Por otro lado, el período del puente P324440-939760 es muy similar al PME, alejándose así de la tendencia general.
5. La medición de frecuencias de vibración de puentes se puede llevar a cabo utilizando equipos de bajo costo (e.d. placas Arduino).

5. Recomendaciones

Basado en los resultados de este estudio, se puede recomendar:

1. Continuar con la evaluación de frecuencias de vibración de otros puentes en Panamá, con el fin de robustecer la tendencia estadística; y darle seguimiento a los puentes que ya fueron estudiados durante este proyecto, con el fin de crear una base de datos para analizar cambios que pueda sufrir la estructura a través del tiempo.
2. Implementar mejoras al equipo utilizado en el sistema de monitoreo de frecuencias naturales en

puentes, tales como la utilización de sistemas de transferencia de datos por medio de sistemas inalámbricos, el cual pueda monitorearse a través de celulares o computadoras portátiles.

3. Evaluar a fondo la estructura de los puentes de concreto que presenten períodos de vibración superiores al PME.

6. Agradecimiento

Agradecemos al Dr. José Rolando Serracín por su apoyo técnico en el uso de sistemas Arduino. También agradecemos al Lic. Alex Matus por brindar su apoyo al proyecto y al equipo de conductores del Centro Regional de Chiriquí: Sr. Alvinio Villarreal, Sr. César Sitton y Sr. Juan Castillo; por la ayuda brindada. Agradecemos a su vez al Ing. José Aníbal Castillo, Director Regional del MOP, por permitirnos realizar estas pruebas en los puentes de la región chiricana.

7. Referencias

- [1] W. Rücker, F. Hille and R. Rohrmann, "Guideline for the assessment of existing structures," Federal Institute of Materials Research and Testing , Germany , 2006.
- [2] C. R. W. K. Farrar, "An introduction to structural health monitoring," Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, vol. 10, pp. 303-315, 2007.
- [3] "Puentes antiguos y en mal estado son peligro latente," Diario Panamá América, 27 Julio 2013.
- [4] O. A. Araúz and S. M. Rodríguez, Identificación estructural de puentes basado en la vibración (tesis de pregrado), Universidad Tecnológica de Panamá , 2016.
- [5] O. Castejón, "Diseño y análisis de experimentos," 2011. [Online]. Available: <http://www.uru.edu/fondoeditorial/libros/pdf/manualestatistix/>.
- [6] O. Salawu, "Detection of Structural Damage through changes in frequency: a review," Elsevier Sciences, vol. 19, no. 9, pp. 718-723, 1997.
- [7] G. K. C. P. Hyunjun Jung, "Impact Factors of Bridges based on natural frequency for various superstructure types," KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 17, no. 2, pp. 458-464, 2013.
- [8] D.-S. J. N.-S. K. J.-G. Y. Chul-Young Kim, "Effect of vehicle mass on the measured dynamic characteristics of bridges from traffic-induced vibration test," Society of Experimental Mechanics , vol. 4359, no. 2, pp. 1106-1111, 2001 .

Influencia de la gestión del conocimiento en la calidad de las operaciones de empresas hoteleras en Panamá

Influence of knowledge management on the quality of operations of hotel enterprises in Panama

Rita Araúz^{1*}, Joselinn Quintero²

^{1,2}Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá

¹rita.arauz@utp.ac.pa, ²joselinn.quintero@utp.ac.pa

Resumen— El estudio presenta un modelo de la relación que existe entre la gestión del conocimiento y la calidad de las operaciones del sector hotelero. La gestión del conocimiento se descompone en generación del conocimiento, diseminación, interpretación compartida y capacidad de respuesta del conocimiento. Se analiza entonces el efecto que ejercen dichas variables asociadas a la gestión del conocimiento en la calidad de las operaciones del sector bajo estudio. Los resultados revelan una fuerte dependencia entre las variables generación del conocimiento, diseminación del conocimiento, capacidad de respuesta del conocimiento y calidad de las operaciones. Sin embargo, la relación entre la interpretación compartida del conocimiento y la capacidad de respuesta resultan no significativas.

Palabras claves— Gestión del conocimiento, calidad, turismo, empresas hoteleras, análisis de regresión.

Abstract— The current paper presents a model of the relationship that exists between knowledge management and quality of operations of hotel enterprises. Knowledge management is described in terms of four variables, knowledge generation, dissemination, shared interpretation and ability to respond. The study analyzes the effect that these variables have on the quality of the operations. Knowledge generation, dissemination and ability to respond are found to be strongly linked, but interpretation and ability to respond are found to be not strongly linked.

Keywords— Knowledge management, quality, tourism, hotel enterprises, regression analysis.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 29 de agosto de 2016

Fecha de Aceptación: 12 de abril de 2017

1. Introducción

Los avances tecnológicos a lo largo de los años han modernizado la forma de vivir de la sociedad, optimizando los métodos de trabajo y fortaleciendo el crecimiento económico, en donde la información y la comunicación toman un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad, generando todo tipo de conocimientos que pueden ser utilizados de forma eficiente para obtener mejores resultados en las actividades que se realicen.

El conocimiento es el principal recurso de las organizaciones ya que dependiendo de sus capacidades para generarlo, compartirlo, interpretarlo y aplicarlo dependerá su capacidad de obtener tanto ventajas competitivas sostenibles como mejoras en los servicios

que proveen a sus consumidores. El conocimiento es el activo intangible de las organizaciones que tiene su origen en las habilidades, valores y actitudes de las personas. También se le conoce como capital intelectual, que no es más que la capacidad que se genera dentro de toda organización cuando el recurso humano trabaja en equipo.

Hoy en día las organizaciones reconocen la importancia de administrar sus recursos, de organizar, planificar y controlar eficientemente sus operaciones por medio de la información. Adicionalmente, las organizaciones estables contratan al mejor personal y lo recompensan por un desempeño excepcional. El éxito empresarial depende tanto del líder como de su equipo de trabajo quienes laboran en conjunto, utilizando

técnicas y herramientas que no se podrían desarrollar por si solas. Estas y otras actividades son realizadas por el sector turismo, principalmente el área hotelera, en donde se crea un contacto directo y prolongado con el cliente y es una de las principales fuentes de ingreso económico en la actualidad, por lo que su correcto desarrollo es de vital importancia para el crecimiento del país.

En los últimos años, Panamá se ha convertido en uno de los destinos más innovadores y atractivos de América Central, gracias a sus muchos sitios turísticos como playas, valles y montañas, ofreciendo una amplia variedad de atracciones y actividades. Esta investigación plantea un modelo para analizar la gestión del conocimiento y su impacto en la calidad de las operaciones del sector hotelero. Debido a la relevancia que ha adquirido este sector en los últimos años, se considera de suma importancia el determinar cuáles son los aspectos relacionados a la generación, diseminación, interpretación y capacidad de respuesta fundamentados en el conocimiento, que influyen directamente en la calidad de las operaciones del sector.

2. Revisión literaria

Según Andreu y Sieber [1], el conocimiento es personal, se utiliza sin que se consuma y sirve de guía para la acción de las personas. Estas características convierten al conocimiento en un cimiento sólido para el desarrollo de las ventajas competitivas de una empresa. El conocimiento es la piedra angular de los activos intangibles. Los activos intangibles tienen su origen en los conocimientos, habilidades, valores y actitudes de las personas. También a los activos intangibles se les conoce con el nombre de “capital intelectual”, y estos son las capacidades que se generan dentro de toda organización cuando el recurso humano trabaja en equipo. Estos activos, si son gestionados y medidos convenientemente, se transforman en una gran fuente de ventaja competitiva sostenible, capaz de proporcionar valor organizativo y traducirse luego en beneficios importantes. Fugate et al. [2] plantean un modelo de gestión del conocimiento que inicia con la generación del conocimiento, dicha generación determina la diseminación del conocimiento, a su vez la diseminación influye directamente en la interpretación del conocimiento. La interpretación del conocimiento define la respuesta que se le da al mismo.

En primera instancia, el término “gestión” se define como “el proceso de planear, organizar, dirigir y controlar el uso de los recursos para lograr los objetivos organizacionales” [3]. Gestión del conocimiento es el proceso de determinar, escoger, organizar, presentar y usar la información por parte de los colaboradores y directivos de la empresa, para potenciar las competencias organizacionales y la generación de valor [3], [4], [5]. De acuerdo a lo anterior, se destacan las siguientes definiciones:

- Generación del conocimiento: Se refiere a la compilación, análisis y evaluación de la información proveniente de las relaciones con los clientes y proveedores, con el personal y del entorno tanto interno como externo de la empresa.
- Diseminación del conocimiento: Se refiere a compartir conocimientos y transmitir la información a las personas adecuadas en el momento adecuado mediante capacitaciones y medios de comunicación tanto formales como informales.
- Interpretación compartida del conocimiento: Se refiere al intercambio de datos, información, ideas y opiniones, y la discusión de los diversos puntos de vista acerca del significado de la información entre los colaboradores de la organización para que sea posible lograr una interpretación compartida de la información.
- Capacidad de respuesta del conocimiento: Se refiere a cómo el conocimiento puede ser utilizado en el proceso de toma de decisiones y es aplicado para responder satisfactoriamente a los entornos de la organización.

2.1 Sector turismo de Panamá

En los últimos años, Panamá se ha convertido en uno de los destinos más innovadores y atractivos de América Central, gracias a sus playas, valles y montañas, que ofrecen una amplia variedad de atracciones y actividades. El turismo juega un papel muy importante en la determinación de las tendencias del ciclo económico general y de varias actividades económicas específicas, y para el año 2014 el sector turismo encabezó el primer lugar dentro de los principales generadores de divisas del sector económico [6].

El turismo de compras y negocios, de convenciones, de playas y destinos de lujo y ecoturismo son algunas de las modalidades que ofrece el país. Dentro de estas, los

hoteles se pueden establecer como el punto en común. Según cifras proporcionadas por la Autoridad de Turismo de Panamá [6], los hoteles con categoría de turismo reflejaron un porcentaje de ocupación global de 52.8%, mostrando una disminución de 6.5% con respecto al 2014. Esto obedece principalmente al incremento de la oferta hotelera en el número de habitaciones existentes. Cada vez existen más hoteles en el país que brindan los mismos servicios a los clientes. Por lo tanto, las empresas hoteleras deben buscar la forma de sobresalir para atraer la mayor cantidad de clientes, logrando así mantenerse en el mercado, y el gestionar el conocimiento es uno de los métodos más efectivos.

Tomando en cuenta los anteriores datos sobre la actualidad e importancia del sector en el país, se puede resaltar la necesidad de las empresas de turismo por comprender las capacidades, recursos y conocimientos que poseen para utilizarlos de forma eficiente al momento de prestar sus servicios a los clientes. Es importante entonces la gestión del conocimiento como activo intangible para mejorar el nivel de calidad de las operaciones que realiza la empresa.

Siendo el sector turismo uno de los más importantes generadores de ingresos para el país, el que las empresas de este sector comprendan la realidad en torno a la gestión del conocimiento y lo utilicen en sus instalaciones podría traer grandes fortalezas al sector y por ende al país. El propósito de esta investigación es analizar la importancia de la gestión del conocimiento en la calidad de las operaciones del sector turismo, además de aportar un nuevo enfoque basado en el conocimiento y, al entorno empresarial del país, una fuente de información para la toma de decisiones.

2.2 Modelo del impacto de la gestión del conocimiento en la calidad de las operaciones de turismo

El modelo que establece la relación entre la gestión del conocimiento y la calidad de las operaciones se plantea en la figura 1. De esta forma se establece la calidad de las operaciones como la variable dependiente, ésta es fundamental para cualquier empresa. En las cadenas hoteleras, el poseer calidad en las operaciones que se realicen crea valor agregado tanto para el cliente en cuanto a la satisfacción de sus necesidades como para la empresa en la obtención de márgenes de ganancia más altos.

La calidad en las operaciones del sector turismo se refiere a cómo el conocimiento contribuye al mejoramiento de la empresa, se basa en el desarrollo de las actividades para satisfacer las necesidades de los clientes, en la minimización del costo y en la mejora de los tiempos de entrega. La calidad de servicio es lo que marca la diferencia en el sector hotelero ya que al ser altamente competitivo, las empresas no pueden darse el lujo de fallar en este sentido porque indicaría bajas en las ventas. Este tipo de empresas miden la calidad en base a los niveles de satisfacción de los clientes y, por ende, realizan estudios variados sobre las necesidades y expectativas de los mismos.

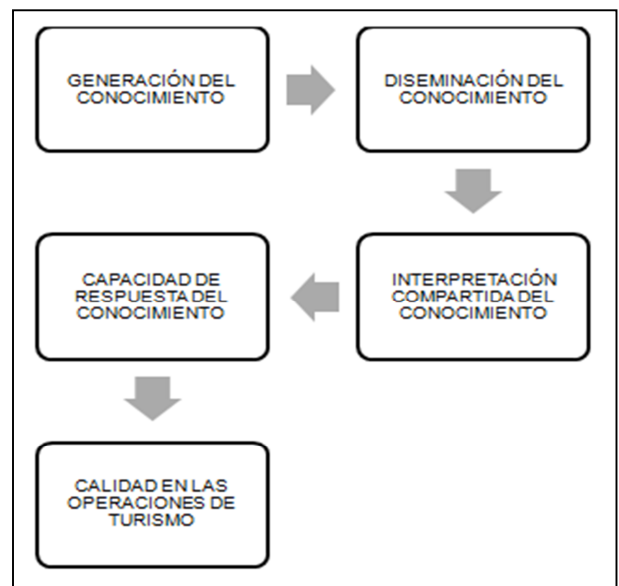


Figura 1. Modelo de la relación entre la gestión del conocimiento y la calidad de operaciones de turismo.

2.3 Hipótesis

La investigación plantea las siguientes hipótesis:

- La generación del conocimiento tiene un efecto positivo significativo en la diseminación del conocimiento.
- La diseminación del conocimiento tiene un efecto positivo significativo en la interpretación compartida del conocimiento.
- La interpretación compartida del conocimiento tiene un efecto positivo significativo en la capacidad de respuesta del conocimiento.
- La capacidad de respuesta del conocimiento tiene un efecto positivo significativo en la calidad de las operaciones de turismo.

3. Metodología

Las variables bajo estudio se definen a continuación:
Generación de conocimiento: es la obtención y análisis de información que puede ser transformada en conocimiento útil para la empresa.

Diseminación de conocimiento: es la capacidad de la empresa de compartir el conocimiento con la persona correcta de modo eficiente.

Interpretación de conocimiento: es lograr una interpretación cohesiva del conocimiento de manera eficiente.

Capacidad de respuesta del conocimiento: es la habilidad de planear, actuar e implementar basado en conocimiento adquirido.

Calidad de las operaciones de turismo: es satisfacer al cliente mediante el ofrecimiento del servicio en el tiempo establecido, de manera completa, correcta y precisa.

El cuestionario consta de treinta y un preguntas divididas en cinco bloques, cada bloque basado en las variables observadas del modelo de investigación. Se utilizó la escala de Likert con cinco opciones, desde totalmente de acuerdo hasta totalmente en desacuerdo. Dicha encuesta se aplicó a gerentes o directivos de hoteles a nivel nacional, la misma fue enviada vía correo electrónico utilizando Google Drive y en otros casos fue aplicada personalmente. El período de aplicación fue de septiembre a noviembre, 2015. La población de estudio se identifica como el sector hotelero de Panamá. El proceso de muestreo elegido para desarrollar la investigación fue no probabilístico ya que el interés era incluir a todos los sujetos accesibles como parte de la muestra. Se intentó conseguir muestras de todas las provincias del país, sin embargo esto se vio limitado por tiempo disponible para la realización del proyecto y la distancia de algunas áreas. Al final del proceso se obtuvo una muestra de 16 hoteles localizados en las ciudades de Panamá, Azuero, Boquete, Coclé y Colón.

3.1 Validación y fiabilidad del instrumento de medición

La validez de las preguntas se estableció mediante la revisión literaria exhaustiva que se realizó, consultando diversas bases de datos de revistas científicas para determinar los principales avances a nivel internacional en el tema de gestión del conocimiento en empresas del

sector turismo. Las preguntas del cuestionario fueron adaptadas de estudios anteriores, algunas fueron modificadas para tratar de detectar la realidad del entorno de las empresas establecidas en Panamá [2], [7].

El análisis de fiabilidad se realizó mediante el cálculo del coeficiente de alfa de Cronbach, cuyo valor oscila entre 0 y 1. El resultado del coeficiente de alfa de Cronbach para cada variable del modelo fue mayor de 0.70, indicando buena fiabilidad.

3.2 Análisis de factores

El análisis factorial permitió determinar la existencia de alguna relación entre las variables observadas. Se utilizó la rotación Varimax para minimizar el número de variables que tienen saturaciones altas en cada factor; al mismo tiempo simplificar la interpretación de los factores optimizando la solución por columna, lo cual produce resultados más estrictos en los factores que incrementan la validez de los mismos. La tabla 1 a continuación describe la abreviatura utilizada para referirse a las preguntas del cuestionario.

Tabla 1. Listado de abreviatura utilizada para cada pregunta del cuestionario

Variable observada	Pregunta
Generación del conocimiento	
GC1	¿Se involucra en ayudar a resolver los problemas de los clientes?
GC2	¿Se realizan encuestas a los clientes para determinar necesidades actuales y futuras?
GC3	¿Se realizan llamadas o se envían correos electrónicos a los clientes para construir, mejorar relaciones y obtener retroalimentación de su experiencia en las instalaciones?
GC4	¿Participa la empresa en eventos que impulsan la innovación en los servicios que ofrecen, como por ejemplo: ferias de turismo, convenciones hoteleras, foros de actividades turísticas, entre otras?
GC5	¿Se interactúa con el departamento de atención al cliente para darle seguimiento a las actividades que realiza dicho departamento?
GC6	¿El supervisor/jefe acompaña a los empleados que prestan servicios de

	atención al cliente en las instalaciones para observar cómo funcionan las cosas?
GC7	¿Se relacionan/Existen buenas relaciones con los clientes para aprender más acerca de sus necesidades y el motivo de su estadía en las instalaciones? (Ejemplo: vacaciones familiares, cumpleaños, turismo aventurero, etc.)
GC8	¿Se incluyen en los programas de formación conceptos asociados a la gestión de relaciones con el cliente, justo a tiempo, sistemas de información, y nuevas tecnologías?
Diseminación del conocimiento	
DC1	¿Se comparte información relevante en el momento oportuno, con el personal de atención al cliente?
DC2	¿Se comparte información relevante con la gerencia/alto mando de la empresa en el momento oportuno?
DC3	¿Se intercambia información a través de medios informales, como por ejemplo: murales informativos, correos electrónicos, conversaciones en horas de almuerzo, etc.?
DC4	¿Se intercambia información a través de medios formales, como por ejemplo: notas escritas, reuniones, etc.?
DC5	¿Se utilizan métodos efectivos de capacitación para transmitir el conocimiento requerido?
DC6	¿Se utilizan medios de comunicación efectivos para comunicarse con el personal?
Interpretación compartida del conocimiento	
ICC1	¿Se discuten las diferentes opiniones y se llega a un consenso?
ICC2	¿Se comparten y declaran los diferentes puntos de vista sobre el significado de la información?
ICC3	¿En el contexto de operaciones turísticas de atención al cliente, se comparte comprensión similar acerca del significado de la información?
ICC4	¿Se ponen de acuerdo sobre cómo la información debe ser usada?
ICC5	¿Se tiene la capacidad para escuchar y entender las opiniones de otros, aunque sean opuestas?
ICC6	¿Se realizan reuniones entre los directivos

	y personal operativo para ponerse de acuerdo sobre cómo se debe utilizar la información?
Capacidad de respuesta del conocimiento	
CRC1	¿Se integran los conocimientos adquiridos, aplicándolos en la creación de nuevos paquetes para clientes, procesos o servicios?
CRC2	¿Se posee la capacidad para comprender cómo las respuestas a los cambios impactan en el entorno turístico?
CRC3	¿Se posee la capacidad para comprender cómo las respuestas a los cambios en el entorno turístico impactan en otras operaciones?
CRC4	¿Se posee la capacidad para comprender cómo las respuestas a los cambios impactan en el entorno turístico del negocio?
CRC5	¿Se posee la capacidad para responder rápidamente cuando los clientes están pocos satisfechos con los servicios ofrecidos por la instalación?
CRC6	¿Se posee la capacidad para responder rápidamente cuando los competidores inician una nueva oferta de servicio?
Calidad en las operaciones de turismo	
COT1	¿Al presentarse un cliente con una situación inusual, los empleados de atención al cliente usualmente pueden responder satisfactoriamente a las preguntas del cliente?
COT2	¿Las operaciones hoteleras y todos los servicios, tanto recreativos como de hospedaje y restaurante, que ofrecen en el sector se realizan en el tiempo establecido?
COT3	¿Las operaciones de turismo y los servicios que brinda la empresa se entregan siempre de manera completa y correcta?
COT4	¿El personal de las instalaciones atiende siempre con cortesía?
COT5	¿El nivel de servicio que se provee diariamente en las instalaciones es el mismo para todos los clientes que atienden?

3.2.1 Variable generación del conocimiento

Los resultados obtenidos del análisis de factores se muestran en la tabla 2, la cual indica que las variables observadas se agrupan en tres factores.

Tabla 2. Resultados de análisis factorial para gestión del conocimiento

Variable Observada	1	2	3	Comunalidad
GC2	0.132	0.05	0.956	0.935
GC3	0.742	0.018	0.537	0.84
GC4	0.195	0.475	0.768	0.852
GC5	0.947	0.155	0.148	0.943
GC6	0.381	0.731	0.383	0.826
GC7	0.002	0.905	0.111	0.832
GC8	0.67	0.636	-0.054	0.857

Factor 1: Incluye las variables GC3 y GC5. Ambas superan el nivel de comunalidad de 0,50 [8], esto indica un alto grado de relación con la generación del conocimiento, obteniendo el mayor nivel de comunalidad la variable observada GC5, referente a si las empresas interactúan con el departamento de atención al cliente para dar un seguimiento de los procesos y procedimientos que realizan diariamente. Esta pregunta es la más representativa debido a que el modelo es capaz de explicar un 94.3% de su variabilidad total.

Factor 2: Incluye las variables GC6, GC7 y GC8.

Todas superan el nivel de comunalidad de 0,50 [8], indicando un alto grado de relación con la generación del conocimiento, obteniendo el mayor nivel de comunalidad la variable observada GC8, referente a que si las empresas incluyen en los programas de formación y capacitación conceptos asociados a la gestión de relaciones con el cliente (*CRM = Customer Relationship Management*), sistemas de información y nuevas tecnologías. Esta pregunta es la más representativa, debido a que el modelo es capaz de explicar un 85.7% de su variabilidad total.

Factor 3: Incluye las variables GC2 y GC4. Todas superan el nivel de comunalidad de 0,50 [8]. Esto indica

un alto grado de relación con la generación del conocimiento, obteniendo el mayor nivel de comunalidad la variable observada GC2, referente a si la empresa realiza encuestas a los clientes para determinar necesidades actuales y futuras. Esta pregunta es la más representativa, debido a que el modelo es capaz de explicar un 93.5% de su variabilidad total.

3.2.2 Variable diseminación del conocimiento

Los resultados obtenidos del análisis de factores se muestran en la tabla 3, la cual muestra que las variables observadas se agrupan en un solo factor.

Tabla 3. Resultados de análisis factorial para diseminación del conocimiento

Variable Observada	1	Comunalidad
DC1	0.95	0.902
DC2	0.754	0.568
DC4	0.818	0.669
DC5	0.822	0.676
DC6	0.86	0.74

Factor 1: Incluye todas las variables y todas superan el nivel de comunalidad de 0,50[8]. Esto indica un alto grado de relación con la diseminación del conocimiento, obteniendo el mayor nivel de comunalidad la variable observada DC1, referente a si la empresa comparte información en el momento oportuno con el personal de atención al cliente. Esta pregunta es la más representativa debido a que el modelo es capaz de explicar un 90.2% de su variabilidad total. De esta forma para la diseminación del conocimiento se generó un solo factor.

Cabe mencionar que para las variables interpretación compartida del conocimiento y calidad de las operaciones, el resultado del análisis factorial generó un solo factor por lo cual no se muestra en este documento.

3.2.3 Variable capacidad de respuesta del conocimiento

Los resultados obtenidos del análisis de factores se muestran en la tabla 4, la cual muestra que las variables observadas se agrupan en dos factores.

Tabla 4. Resultados de análisis factorial para capacidad de respuesta del conocimiento

Variable Observada	1	2	Comunalidad
CRC1	0.012	0.956	0.914
CRC2	0.872	0.269	0.833
CRC3	0.824	0.023	0.679
CRC4	0.865	0.086	0.756
CRC5	0.552	0.576	0.636

Factor 1: Incluye las variables CRC2, CRC3 y CRC4. Ambas superan el nivel de comunalidad de 0,50 [8]. Esto indica un alto grado de relación con la capacidad de respuesta del conocimiento, obteniendo el mayor nivel de comunalidad la variable observada CRC2, referente a si las empresas poseen la capacidad para comprender cómo las respuestas a los cambios impactan en el entorno turístico empresarial. Esta pregunta es la más representativa, debido a que el modelo es capaz de explicar un 83.3% de su variabilidad total.

Factor 2: Incluye las variables CRC1 y CRC5. Todas superan el nivel de comunalidad de 0,50 [8], lo que indica un alto grado de relación con la capacidad de respuesta del conocimiento. Obtuvo el mayor nivel de comunalidad la variable observada CRC1, referente a si las empresas integran los conocimientos adquiridos, aplicándolos en la creación de nuevos paquetes para clientes, procesos o servicios. Este factor es el más representativo, debido a que el modelo es capaz de explicar un 91.4% de su variabilidad total.

Como se puede observar, en el análisis de factores para la capacidad de respuesta del conocimiento se generaron dos nuevas variables, las cuales son: CRC1_1: que incluye las variables observadas CRC2, CRC3 y CRC4. Adicionalmente, CRC2_1: que incluye las variables observadas CRC1 y CRC5.

4. Resultados del análisis de regresión

El análisis de regresión se realizó para probar la dependencia de cada una de las relaciones causales que plantea el modelo de la figura 1.

4.1 Relación entre las variables generación del conocimiento y diseminación del conocimiento

El análisis de regresión reveló los resultados que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resumen del modelo entre la generación del conocimiento y la diseminación del conocimiento

R ² =0.876					
	GL	Suma de Cuadrados	Media Cuad.	F	Sig.
Regresión	3	13.146	4.382	28.362	0.000
Error	12	1.854	0.155		
Total	15	15.000			
Modelo					
	Coeficientes Tipificados			Valor t	Sig.
GC1	0.386			3.801	0.003
GC2	0.590			5.815	0.000
GC3	0.616			6.068	0.000

La relación es significativa mostrando un coeficiente de determinación de 0.876. A su vez, las variables observadas GC1, GC2 y GC3 muestran ser significativas.

4.2 Relación entre las variables diseminación del conocimiento e interpretación compartida del conocimiento

El análisis de regresión reveló los siguientes resultados (ver tabla 6).

Tabla 6. Resumen del modelo entre la diseminación del conocimiento e interpretación compartida del conocimiento

R ² =0.608					
	GL	Suma de Cuadrados	Media Cuad.	F	Sig.
Regresión	1	9.121	9.121	21.721	0.000
Error	14	5.879	0.420		
Total	15	15.000			
Modelo					
	Coeficientes Tipificados			Valor t	Sig.
DC1	0.780			4.661	0.000

La relación es significativa ya que el coeficiente de determinación, a pesar de ser un poco bajo, se considera aceptable para predecir el comportamiento de la variable dependiente.

4.3 Relación entre las variables interpretación compartida del conocimiento y la capacidad de respuesta del conocimiento

El análisis de regresión reveló los siguientes resultados (ver tabla 7).

Tabla 7. Resumen del modelo entre la interpretación compartida del conocimiento y la capacidad de respuesta del conocimiento

R ² =0.363					
	GL	Suma de Cuadrados	Media Cuad.	F	Sig.
Regresión	1	5.446	5.446	7.980	0.014
Error	14	9.554	0.682		
Total	15	15.000			
Modelo					
	Coeficientes Tipificados			Valor t	Sig.
ICC1	0.603			2.825	0.014

La relación resultó ser no significativa, con un coeficiente de determinación demasiado bajo, que no permite realizar predicciones acertadas sobre el comportamiento de la variable dependiente capacidad de respuesta del conocimiento.

4.4 Relación entre las variables capacidad de respuesta del conocimiento y calidad de las operaciones de turismo

El análisis de regresión reveló los resultados que se observan en la tabla 8.

Tabla 8. Resumen del modelo entre capacidad de respuesta del conocimiento y calidad de las operaciones de turismo

R ² =0.812					
	GL	Suma de Cuadrados	Media Cuad.	F	Sig.
Regresión	2	12.184	6.092	28.123	0.000
Error	13	2.816	0.217		
Total	15	15.000			
Modelo					
	Coeficientes Tipificados			Valor t	Sig.
CRC1	0.807			6.719	0.000
CRC2	0.400			3.332	0.005

En este caso, nuevamente los resultados revelan una relación fuerte entre las variables capacidad de respuesta del conocimiento y la calidad de las operaciones.

5. Análisis

El modelo desarrollado y utilizado sobre la gestión del conocimiento en la calidad de las operaciones del sector turismo es capaz de detectar tanto aspectos positivos como negativos o deficientes en las operaciones del sector turismo en relación con la

obtención y utilización de la información para crear conocimiento que pueda ser utilizado como herramienta de mejora en las empresas, en este caso, hoteles. La influencia que ejercen las variables del modelo sobre la calidad de las operaciones del sector turismo fueron verificadas con un no tan alto grado de validez y fiabilidad en ciertos eslabones de la cadena de la gestión del conocimiento, demostrando que en los hoteles encuestados no se conoce del todo tanto el modelo como la importancia de la gestión del conocimiento en la calidad de las operaciones del sector turismo. Estos resultados se pueden apreciar en la tabla 9. Para el caso de los hoteles en Panamá, la cadena junta eslabones así como pierde alguno de los mismos; la interpretación compartida del conocimiento pareciera un eslabón sin función en la cadena, mientras que la capacidad de respuesta del conocimiento trabaja seguida de la calidad de las operaciones del sector turismo tal como plantea el modelo original. Se puede concluir dos puntos con los datos anteriores: que el modelo no funciona de la misma manera para distintas regiones en el mundo, o que a Panamá le falta conocimiento de la importancia que existe entre cada variable observada del modelo en este sector, por ende no se pone en práctica el modelo en su totalidad, dando resultados no muy satisfactorios en cuando a la calidad de sus operaciones.

Tabla 9. Resumen del modelo con coeficientes de determinación

Variable Independiente	Variable Dependiente	R ²
Generación del conocimiento	Diseminación del conocimiento	0.876
Diseminación del conocimiento	Interpretación compartida del conocimiento	0.608
Interpretación compartida del conocimiento	Capacidad de respuesta del conocimiento	0.363
Capacidad de respuesta del conocimiento	Calidad en las operaciones de turismo	0.812

La investigación sirvió de base para analizar cada variable del modelo y que, luego de realizar un análisis factorial, seleccionar aquellas variables observadas que no mostraron relevancia para el estudio. Analizando los resultados observados luego de realizar la prueba de

fiabilidad y validez, fue necesario eliminar cinco variables observadas, una de cada bloque del modelo.

Los resultados y análisis de la investigación demostraron que un número de hoteles dentro de los encuestados no utilizan ninguna metodología para gestionar el conocimiento, sino que lo realizan de manera intuitiva, por lo que no generan de forma positiva mejoras en la calidad de las operaciones que ofrecen. Sin embargo, a aquellos hoteles donde la encuesta fue presencial, cierto número de profesionales quienes realizaron la encuesta se tomaron el tiempo de explicar detalladamente el proceso que realizaban para gestionar el conocimiento, desde reuniones semanales con el personal hasta encuestas al cliente al día siguiente al momento de desalojar, esto indica que se entiende la importancia de gestionar el conocimiento que llega a sus manos y lo utilizan para incrementar la calidad en los servicios que ofrecen.

Mediante el análisis de validez de contenido se llegó a la conclusión de que actualmente se está resaltando la importancia de gestionar el conocimiento en las empresas ya que es el activo intangible más importante que poseen. El conocimiento está en todas partes: en las personas, en las organizaciones y en la sociedad. El saber administrarlo da valor y poder de decisión, generando ventajas competitivas en las empresas ante un mercado cada vez más amplio y competitivo como lo es el sector turismo.

6. Conclusiones

En los hoteles se obtiene el contacto más directo y prolongado en comparación con el resto de las empresas del sector turismo. Es por este motivo que las empresas hoteleras deben resaltar la importancia que tiene todo el conocimiento que rodea las actividades y procesos que realizan. Diariamente fluye una gran cantidad de información en los hoteles que tiene el potencial de generar conocimientos de carácter útil para la toma de decisiones. La información que provenga de los clientes, de eventos que impulsen la innovación y la capacitación del personal son la base de la generación del conocimiento.

Entre los clientes, eventos que impulsan la innovación del sector y la capacitación del personal, el método con los mejores resultados al momento de gestionar y generar conocimiento fueron los clientes. Ya sea mediante encuestas, llamadas o correos electrónicos,

los clientes son la principal fuente de información para los hoteles, por lo que se debe afianzar en mejorar las relaciones que se posean con ellos.

El departamento de atención al cliente juega un papel importante al momento de generar el conocimiento para la empresa. Es este el departamento donde existe el mayor contacto con los clientes, y es importante darle seguimiento constantemente a las actividades que realizan.

El participar en los eventos en donde se impulsa la innovación en el sector, ya sean ferias y foros de turismo, convenciones y demás, obtuvo resultados bastante positivos, denotando la importancia que los hoteles tienen hacia este tipo de eventos para poder así generar el conocimiento suficiente para aplicarlo en sus instalaciones en búsqueda de mejores resultados.

Luego de generar el conocimiento, la diseminación del conocimiento es el siguiente paso según el modelo de la gestión del conocimiento y por tanto, la segunda en importancia. Al momento de compartir la información en el momento oportuno con el personal, los resultados para esta variable son positivos, indicando que los hoteles en Panamá realmente están llevando a cabo este paso, que para ellos es importante el compartir información en el momento adecuado, principalmente con el personal de atención al cliente para que este pueda responder ante sus necesidades. De igual forma la información se comparte con la gerencia o supervisores, dando por completo el ciclo del flujo de información relevante en los hoteles.

Los medios de comunicación de tipo formal poseen una mayor relevancia que los del tipo informal entre las preferencias de los hoteles. Las empresas del sector prefieren reunirse personalmente para discutir sobre la información ya que les resulta más efectivo que el enviar la misma por correos electrónicos u otro tipo de comunicación informal.

A pesar de que las empresas hoteleras tienen una tendencia a utilizar medios de comunicación efectivos de tipo formal, tienen ligeros problemas en utilizar métodos de capacitación efectivos para transmitir conocimientos. Los hoteles deben enfatizar en este punto para poder transmitir todo aquel conocimiento nuevo a sus empleados para actualizarlos y que puedan tomar mejores decisiones al momento de realizar sus labores al igual que mejorar el nivel de calidad de los servicios que ofrecen.

Luego de generar y diseminar el conocimiento, el siguiente paso según el modelo de la gestión del conocimiento es interpretarlo. Según el análisis de fiabilidad, la variable interpretación compartida del conocimiento es válida y fiable.

Según los resultados obtenidos, los hoteles consideran importante el discutir las diversas opiniones que se tengan sobre la información para poder llegar a un consenso, resaltando así la importancia de discutir el significado de la información para crear conocimiento. No importa el tipo de departamento o el tipo de información que se maneje, es importante discutir lo que se sabe de la información para que al final todas las partes interesadas lleguen a un acuerdo sobre el significado de la misma y no exista problema alguno al momento de tomar decisiones en el futuro.

La capacidad para difundir la información a todos los miembros involucrados es positiva para los hoteles, ya que todas las partes deben estar al tanto de lo que surja en las instalaciones. También se debe a que estar actualizados en información es una ventaja a la hora de que aparezca cualquier tipo de inconveniente ya que se puede dar una respuesta en menor tiempo.

Como humanos es difícil escuchar y entender las opiniones o puntos de vista de otros que difieran a los propios, pero esto no es un obstáculo para las empresas hoteleras en Panamá. Según los resultados obtenidos estas empresas poseen la cultura de trabajo de respeto y comprensión que les permite escuchar las opiniones diversas del resto, y lo ven como una oportunidad de valorar el problema o situación que se genere desde otro ángulo para así poder recopilar mayor información para el acuerdo.

La calidad de las operaciones del sector turismo estudiada en la investigación se fundamenta en dos aspectos: capacidad del personal en cuanto a nivel de servicio y productividad.

Mediante el análisis de fiabilidad se pudo comprobar que las variables observadas que conforman la calidad de las operaciones del sector turismo fueron válidas y fiables.

La capacidad del personal para atender las inquietudes inusuales de los clientes mostró una tendencia poco favorable a lo esperado. Es necesario implementar métodos de capacitación que permitan que el personal pueda responder ante cualquier situación de

forma positiva sin la necesidad de llamar o buscar al supervisor para que se encargue.

Siguiendo con las capacidades del personal se encuentran la cortesía del personal al brindar el servicio a los clientes y el entregar el servicio de forma completa y correcta y en el tiempo establecido. Este punto muestra cierta relación algo pobre ya que los resultados indican que las empresas hoteleras son capaces de entregar un servicio de forma completa y correcta mas no en el tiempo establecido. Ambos factores deberían trabajar a la par para brindarle al cliente un servicio de calidad.

Las empresas hoteleras necesitan trabajar más en brindar un mismo nivel de servicio a todos los clientes en cada atención. Si se desea incrementar el nivel de calidad de los servicios que ofrecen, los empleados y colaboradores deben atender con cortesía y proveer diariamente el mismo nivel de servicio para los clientes.

El análisis de la relación entre las variables permitió constatar que existe una relación positiva entre la capacidad de respuesta del conocimiento y la calidad de las operaciones del sector turismo, según el coeficiente de determinación ajustado de 0.783 que muestra una relación positiva entre las variables.

7. Futuras investigaciones

La aplicación del modelo de investigación a otros sectores de interés como el sector logístico, agropecuario y agroindustrial del país, se plantea como una necesidad, dada la relevancia de esos sectores en el desarrollo de nuestro país, y debido a la poca investigación científica realizada sobre el tema. Para esto, es necesario revisar el instrumento de medición de modo que bajo el modelo planteado que analiza la gestión del conocimiento y su impacto en la calidad de las operaciones, el mismo pueda medir de modo efectivo la industria o sector bajo estudio.

8. Agradecimiento

Agradecemos a las empresas que participaron de este estudio, que de forma desinteresada nos abrieron sus puertas para colaborar con valiosa información que permitió la realización de este proyecto. Vale la pena recalcar que estas empresas hoteleras se localizan a lo largo de nuestro país, desde la Ciudad de Panamá, Azuero, Coclé, Colón, hasta tierras altas en Chiriquí.

9. Referencias

- [1] Andreu, R., & Sieber, S. La gestión integral del conocimiento y del aprendizaje: Economía Industrial, 2000, p. 63-72.
- [2] Fugate, B.S., Stank, T.P. & Mentzer, J.T. Linking improved knowledge management to operational and organizational performance. Journal of Operations Management, 2009, 27, pp. 247-264.
- [3] Chiavenato, I. Introducción a la teoría general de la administración. Sao Paulo, Brazil: McGraw Hill, 2004.
- [4] Lavenport, T. & Klahr, P. Managing customer support knowledge. California Management Review, 1998, 12(1), pp. 31-28.
- [5] Sarvary, M. Knowledge management and competition in the consulting industry. California Management Review, 2001, 10(2), pp. 27-33.
- [6] Autoridad de Turismo de Panamá (2015). <http://www.atp.gob.pa> [Consulta: 12 septiembre 2015]
- [7] Kohli, A.K. & Jaworski, B.J. Markor: a measure of market orientation. Journal of Marketing Research, 1993, 30(4), pp. 467-477.
- [8] Frías, D. & Pascual, A. Prácticas del análisis factorial exploratorio AFE en la investigación sobre la conducta del consumidor y marketing. Suma Psicológica, 19(1), pp. 13-15.

Instructivo para autores

Guide for authors

Nombre del autor principal ^{1*}, Nombre de cada coautor ^{1...n}

¹ Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado, ^{1...n} Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado
¹ correo_electrónico_autor_principal@ejemplo.com, ^{1...n} correo_electrónico_coautor@ejemplo.com

Resumen– Todo trabajo debe presentar un resumen con un aproximado no más de doscientas cincuenta (250) palabras. Esta sección va después de la información de los autores y con su respectiva traducción al inglés. Utilice las palabras “Resumen” (español) y “Abstract” (inglés) como títulos, alineados a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guión. Luego, inicie el resumen en letra Times New Roman 10 puntos, cursiva y espacio sencillo. Finalmente, deje dos (2) espacios en blanco de tamaño 10 puntos y empiece a desarrollar el contenido del artículo.

Palabras claves– En esta sección debe utilizar la frase “Palabras Claves” (español) y la palabra “Keywords” (inglés), alineadas a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guión. Finalmente, debe incluir un máximo de siete (7) palabras claves o frases claves en letra Times New Roman 10 puntos, separadas por comas y en orden alfabético.

Abstract– This section provides a sample of an abstract and keywords which conform to the formatting guidelines for Revista de I+D Tecnológico.

Keywords– Abstract, guidelines for authors, keywords, Revista de I+D Tecnológico.

Uso exclusivo del editor (no remover)

Uso exclusivo del editor (no remover)

Uso exclusivo del editor (no remover)

1. Introducción

Este instructivo es una plantilla que el autor puede modificar para estructurar fácilmente su artículo según las disposiciones establecidas por el Comité Editorial (CE) de la Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

El documento provee reglas de estilo que explican el manejo de ecuaciones, figuras, tablas, abreviaturas y siglas. Además, el autor encontrará secciones para preparar los agradecimientos y referencias.

2. Componentes del artículo

El contenido del documento debe limitarse a un máximo de doce (12) páginas, incluyendo texto, ilustraciones, gráficos y referencias. Por página se entiende una cara de papel tamaño carta ó 21.59 cm x 27.94 cm (8.5" x 11"). El cuerpo del artículo es a dos (2) columnas, cada una con 8.79 cm de ancho y 1.0 cm de espacio entre cada columna.

La configuración de los márgenes es la siguiente: superior 3 cm, inferior 2.5 cm, izquierdo 1.5 cm y derecho 1.5 cm.

A continuación se detallan los componentes del artículo y formato de presentación.

2.1 Tipos de letra y estilos

Utilice un procesador de texto con el tipo de letra Times New Roman. Por favor, evite el uso de “bit-mapped fonts”.

2.2 Título

El título debe ser breve e informativo, reflejando el hallazgo contenido en el artículo y debe estar en Times New Roman 18 puntos, negrita y centrada. La primera palabra comenzará con letra mayúscula y de ahí en adelante se utilizará la mayúscula solamente para los nombres propios y símbolos químicos. Se evitará el uso de abreviaciones y siglas en el título, así como palabras

innecesarias al principio del título, como por ejemplo: un, una, sobre, el, etc.

El título debe contar con su respectiva traducción al inglés o al español, según el idioma base del artículo. Ejemplo: si el artículo está redactado en español entonces el título debe aparecer en español y luego en inglés o viceversa si es el caso contrario.

2.3 Nombre de los autores y afiliaciones

Los autores y coautores deben escribir sus nombres de la misma forma como lo hacen en todas sus publicaciones y seguir el formato establecido al inicio del instructivo. Cada autor debe presentar la siguiente información: la unidad a la que está adscrito (departamento, centro de investigación, facultad, etc.); la entidad a la que está afiliado (universidad, empresa privada, etc.); y el correo electrónico. La importancia de este último dato es que permite una comunicación efectiva entre el autor y el lector.

Los autores y coautores de la UTP deben utilizar el nombre completo de la universidad y sin traducirlo a otro idioma. En otras palabras la entidad de afiliación es “Universidad Tecnológica de Panamá”. Esta medida contribuye positivamente en el conteo por entidad que realiza SCOPUS u otras herramientas, tales como: *Research ID*¹ y *WoS*². Además, el autor correspondiente debe indicarse con un asterisco (*).

2.4 Cuerpo del manuscrito

Los componentes principales del manuscrito deben dividirse en secciones con un uso apropiado de títulos y subtítulos, según lo requiera la organización y el desarrollo lógico del material.

2.4.1 Texto principal

Escriba el texto principal en Times New Roman 11-puntos y a espacio sencillo. Los párrafos deben iniciar con una sangría de 0.5 cm. Además, el texto debe estar completamente justificado, no debe agregar espacios en blanco entre los párrafos de cada sección y los extranjerismos (solo aplica para artículo en español) no adaptados deben escribirse en cursiva.

2.4.2 Cabeceras de primer nivel, cabeceras de segundo nivel y viñetas

Una cabecera de primer nivel debe estar en Times New Roman 12 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver

el título de la sección 1 (introducción) del presente instructivo. Recuerde utilizar un punto (.) después de la numeración, no una coma (,). El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Una cabecera de segundo nivel debe estar en Times New Roman 11 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver el título de la sección 2.3. El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Es importante indicar que estas especificaciones también aplican para las cabeceras de tercer nivel y su contenido. Además, la numeración de estas cabeceras no culminan con un punto. Las viñetas deben justificarse a la izquierda y a espacio sencillo. La sangría entre la viñeta y el texto es de 0.5 cm.

Nota: las secciones principales y subsecciones deben estar separadas mediante un interlineado sencillo (espacio en blanco) de tamaño 11 puntos. Además, escriba un texto entre el título de una sección y una subsección o entre subsecciones, no deje ese espacio en blanco, ver ejemplo entre las subsecciones 2.4 y 2.4.1.

2.4.3 Enumeración de páginas, encabezados y pies de páginas

Enumere sus páginas en el borde inferior derecho, ejemplo: 1, 2, 3,..., n páginas. No utilice encabezados ni pies de páginas. Si necesita pie de página, colóquelo en la parte inferior de la columna en la cual se hace referencia con el siguiente formato: Times New Roman de 9 puntos y espacio sencillo. Para facilitar la lectura, se recomienda evitar el uso excesivo de pies de página e incluir observaciones entre paréntesis, ejemplo: (como se ilustra aquí...).

2.4.4 Ecuaciones

Si está utilizando *Microsoft Word*, use *Microsoft Editor de Ecuaciones* o el complemento *MathType* (www.mathtype.com) para ecuaciones en su artículo. Las variables, números y texto deben ser en Times New Roman 11 puntos.

Pasos para insertar ecuaciones:

- *Microsoft Editor de Ecuaciones:* Insert/Insertar - Object/Objeto - Create New/Crear Nuevo - *Microsoft Equation/Microsoft Editor de Ecuaciones.*
- *MathType:* Insert/Insertar - Object/Objeto - *MathType.*

La ecuación debe estar centrada y con su correspondiente numeración alineada a mano derecha, como se muestra a continuación,

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

Enumere las ecuaciones en forma consecutiva entre paréntesis. Use paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores. Utilice punto al final de la ecuación cuando ellas sean parte de una oración, como

$$\int_0^2 F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma_2 / (2\mu_0)] \cdot \int_0^\infty \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r) d\lambda. \quad (2)$$

Los símbolos de las ecuaciones deben ser definidos antes o inmediatamente después de la ecuación; utilice letra cursiva y 11 puntos. Para la definición utilice letra normal y 11 puntos. En cuanto a la referencia de la ecuación dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Por ejemplo: “En la ecuación 1 se muestra el resultado estimado” o “En la ecuación (1) se muestra el resultado estimado”.

No se aceptan las abreviaciones de las ecuaciones como: “a ec. (1)”, “eq. #1” o “ecuación N°1”. Además, las ecuaciones extraídas de fuentes externas deberán ser citadas en el texto.

2.4.5 Imágenes y fotografías

Las imágenes y fotografías deben estar centradas en el artículo formando parte del texto. En cuanto a numeración, título y leyenda, ver la siguiente sección.

Si alguno de los elementos mencionados no puede ser ajustado en las columnas, entonces debe centrarlo en la parte superior de la página con su respectivo título y leyenda. Después, deben seguir las columnas del artículo en la parte inferior.

Las fotografías e imágenes (tablas, diagramas, gráficos y ecuaciones) deben tener una resolución mínima de 300 ppp (píxeles por pulgada) o dpi (*dots per inch*). Procure que la resolución de las imágenes facilite el envío del artículo a través de la plataforma.

No hay un límite en cuanto a la cantidad máxima de imágenes permitidas. Sin embargo, límitese a incluir las imágenes y ecuaciones más esenciales o novedosas.

Si su artículo es aprobado por el Comité Editorial para su publicación, entonces, debe seguir las instrucciones de la sección 4.

2.4.6 Leyendas de figuras y títulos de las tablas

Las leyendas de figuras y títulos de las tablas deben ser en Times New Roman de 10 puntos. La primera palabra de la leyenda debe iniciar con letra mayúscula. Las palabras “Figura” y “Tabla” deben ser en negrita, incluyendo el número de secuencia y el punto.

Las figuras y tablas deben enumerarse separadamente y llevar su respectiva secuencia, ejemplo: “**Figura 1.** Diagrama de control” y “**Tabla 1.** Mediciones en campo”. Las leyendas de las figuras se colocan justificadas debajo de la imagen y los títulos de las tablas se colocan centrados arriba de las tablas.

2.5 Secciones usuales de un artículo

Las secciones más usuales de un artículo científico, pero NO limitantes, son las siguientes:

2.5.1 Introducción

Debe ubicar al lector en el contexto del trabajo:

- La naturaleza del problema cuya solución o información se describe en el documento.
- El estado del arte en el dominio tratado (con sus respectivas referencias bibliográficas).
- El objetivo del trabajo, su relevancia y su contribución en relación al estado del arte.
- Descripción de la estructura del artículo.

2.5.2 Materiales y métodos

Es importante presentar el diseño y tipo de investigación, pasos de la investigación, materiales y métodos. Además, el autor debe incluir los criterios de la selección del material tratado, los controles, estudios planeados y realizados.

2.5.3 Resultados

Los resultados deben presentarse en orden lógico acorde a la metodología planteada. Usar tablas y figuras cuando sea posible para presentar los resultados de forma clara y resumida. Además, las referencias de tablas y figuras dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Ejemplo: En la figura 2 se muestran las mediciones realizadas en el período de enero a marzo.

Tenga mucho cuidado en el texto del artículo al usar porcentajes o estadísticas con un pequeño número de muestras. Incorrecto: "El 60% (3/5) de las muestras de David y el 20% (1/5) de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos." Correcto: "Tres de cada cinco ejemplares de David y 1 de cada 5 ejemplares de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos."

Cuando un número empieza una oración entonces debe escribirlo en letras. Además, utilice numerales cuando las cifras sean mayores que 10.

Posterior a la presentación de los resultados, se destacarán y discutirán los aspectos más importantes del trabajo. Toda afirmación debe estar avalada por los resultados obtenidos. Y por último, comparar los resultados obtenidos con estudios previos.

Se recomienda extremar el poder de síntesis evitando repeticiones innecesarias. Además, las unidades numéricas con su respectiva magnitud deben estar unidas. Ejemplo: 30°C o 25%.

2.5.4 Conclusiones

Deben ser enunciadas con claridad y deben cubrir:

- Las contribuciones del trabajo y su grado de relevancia.
- Las ventajas y limitaciones de las propuestas presentadas.
- Referencia y aplicaciones de los resultados obtenidos.
- Recomendaciones para futuros trabajos.
- Impacto sobre la comunidad científica.

2.5.5 Agradecimiento

Utilice el término en singular como encabezado, aun cuando sean muchos agradecimientos. En esta sección se recomiendan las siguientes expresiones: "Agradecemos a Juan Pérez por su asistencia técnica" o "Agradecemos también a nuestro colaborador Carlos Pérez de la Dirección de Investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá". El reconocimiento a patrocinadores por el apoyo financiero se indica en esta sección, ejemplo: "Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional bajo contrato...".

2.5.6 Referencias

Las referencias se identificarán en el texto mediante números arábigos entre corchetes, alineados con la escritura. Se enumerarán por orden de aparición en el

texto al final del trabajo. Las listas de referencias deben seguir el estilo de la **IEEE**. El autor tiene la libertad de utilizar un administrador de fuentes bibliográficas que incluyen los procesadores de texto o un *software* específico. La letra debe estar en Times New Roman 9 puntos.

No se aceptará que los nombres de todos los autores de un artículo o libro se den como et al., debiéndose especificar la cita completa.

El autor es responsable de la exactitud del contenido y citación de todas las referencias. Todas las referencias deben ser citadas en el documento. Los números de las referencias en el texto deben colocarse entre corchetes.

A continuación, se detallan algunos ejemplos de citaciones:

Citación de un artículo

- [1] G. Pevere. "Infrared Nation." *The International Journal of Infrared Design*, vol. 33, pp.56-99, Jan. 1979.

Citación de un libro

- [2] W.K. Chen. *Linear Networks and Systems*. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123-35.

Citación de un documento electrónico

- [3] A. Paul. (1987, Oct.). "Electrical properties of flying machines." *Flying Machines*. [Online]. 38(1), pp. 778-998. Available: www.flyingmachjourn/properties/fly.edu [Dec. 1, 2003].

2.5.7 Apéndice

El apéndice consiste en la presentación de cualquier otro material que impida el desarrollo continuo del artículo, pero puede ser importante para justificar los resultados del trabajo.

3. Normas para la recepción de los artículos

La RIDTEC es una **revista abierta** de publicación semestral, por lo tanto, extendemos una cordial invitación a todos los autores interesados en publicar artículos científicos (ver definición en la sección 4) sobre los avances y los resultados de sus proyectos de investigación.

En consecuencia, los artículos aceptados por la RIDTEC son artículos científicos relacionados con trabajos de investigación científica y tecnológica en el campo de las ciencias básicas e ingeniería y otras áreas del conocimiento, tales como: ciencias sociales, humanidades, ciencias naturales y exactas, por citar algunas.

Las áreas de investigación de interés, pero no limitantes, han sido definidas por la UTP con la

finalidad de abarcar los campos del conocimiento a nivel internacional han identificado en los sectores económico, social, científico y tecnológico:

- Agroindustria Alimentaria y no Alimentaria.
- Robótica, Automatización e Inteligencia Artificial.
- Biotecnología.
- Proceso de Manufactura y Ciencia de los Materiales.
- Energías Renovables Convencionales y no Convencionales, y Ambiente.
- Tecnologías de la Información y Comunicación.
- Infraestructura.
- Astronomía.
- Logística y Transporte.
- Educación y Sociedad.
- Recursos Hídricos y Cambio Climático.
- Ciencias de la Tierra.

Los autores de artículos pueden ser docentes, investigadores, estudiantes universitarios de pregrado y postgrado con orientación de un profesor tutor. Además, los interesados pueden ser profesionales de entidades públicas (autónomas y semiautónomas) y entidades privadas, ya sean, nacionales e internacionales. Los estudiantes de pregrado con interés de publicar pueden enviar sus trabajos a la Revista de Iniciación Científica de la UTP (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric>).

El autor puede encontrar en el portal de la RIDTEC (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico>) los siguientes ítems:

- Miembros del CE.
- Ediciones anteriores.
- Instructivo para autores.
- Objetivos, alcance, misión y temática.
- Política editorial de la revista.
- Declaración de ética de publicación de la revista.
- Plataforma para la recepción de artículos.
- Fechas de convocatorias para la recepciones de los artículos.

El autor debe enviar una primera versión de su artículo durante el periodo establecido. Además, el autor debe utilizar el formato establecido en el instructivo para estructurar su artículo y enviarlo a través de la [plataforma para la recepción de artículos](#). Además, los artículos recibidos en la plataforma pasado de la fecha límite de la convocatoria, pasaran al estatus de “**espera**” para formar parte de la próxima convocatoria. El archivo del artículo debe cumplir con las siguientes

características: formato .doc o .docx y no debe superar los 18MB.

El someter el manuscrito a esta revista implica que el autor está de acuerdo con el método de evaluación aplicado al artículo, no ha enviado a evaluación ni ha publicado el artículo en otra revista, el artículo no está en proceso de publicación en otra revista. Por consiguiente, el autor se compromete a no enviar el artículo a otra revista mientras espera el informe de evaluación del Comité Editorial.

No existe un límite para el envío de artículos por autor. Sin embargo, si dos o más artículos de un autor son aceptados entonces solo se publicará un artículo por número y los demás artículos en los siguientes números.

Nota: El autor solo puede modificar o retirar el artículo antes de la fecha establecida para el corte de la recepción. Esto implica que el artículo no puede ser reemplazado durante el proceso de evaluación o retirado si es recomendado para su publicación.

4. Evaluación y aceptación de artículos

Cada artículo será evaluado mediante el método de “**revisión por pares**” para conocer su calidad técnica, la originalidad, la contribución científica, entre otros criterios relevantes. La revisión por pares se rige por el método de “**doble ciego**” para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo o conflicto de interés. Los dictámenes finales serán emitidos por el CE de la revista.

Si el dictamen final (opinión de ambos evaluadores y el CE) consiste en no recomendar un artículo para su publicación, se procede con devolverlo al autor con el informe de evaluación notificándole sobre las debilidades de fondo y forma. Un dictamen final de este tipo se sustenta con los siguientes puntos: el trabajo no incorpora el componente de ingeniería, deficiencias en la redacción y claridad de las secciones, no hay una contribución original y significativa al área del conocimiento. Sin embargo, si existe una contradicción entre los evaluadores entonces se recurrirá a un tercer evaluador para definir la evaluación.

En el caso de que el artículo sea recomendado para su publicación, se procede con devolver el artículo y el informe de evaluación. El autor debe mejorar el documento y remitirlo con la información de los autores en un plazo no mayor de **15 días** al correo electrónico revista.idtecnologico@utp.ac.pa

Posterior a la aceptación de los ajustes en el artículo por parte del CE, el autor principal recibirá una certificación sobre la publicación de su artículo en la RIDTEC. Además, el autor debe entregar los archivos al correo electrónico revista.idtecnologico@utp.ac.pa o enviar un disco (CD o DVD) con sus respectivas imágenes o gráficos originales para la diagramación del artículo. En el caso de enviar un disco, este debe incluir los siguientes datos:

- Número de identificación del artículo (ID)
- Título del artículo
- Nombre del autor principal.

¿Qué queremos decir con una "**imagen original**"? Según nuestras experiencias con ediciones anteriores, se recomienda generar un PNG o JPG de la imagen con el software utilizado para crear dicha imagen y con una resolución mínima de **300 ppp**. Ejemplos del concepto "original": si la imagen es creada en *Autocad* entonces usted debe generar el archivo PNG o JPG de la imagen a partir del *Autocad*.

No se recomienda exportar la imagen a otra aplicación para generar el PDF porque puede afectar considerablemente la calidad de la imagen y complicar la tarea de diagramación. Ejemplo: exportar la imagen del *Autocad* e importarla en *Word* o *power point*.

Cada imagen debe aparecer en un archivo PNG o JPG por separado y debidamente identificada para facilitar el reemplazo en el artículo.

Nota: El autor es responsable de garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos para las imágenes. En caso contrario, el artículo quedará en cola de espera para su publicación.

5. Prioridad de publicación

La prioridad de publicación se va a regir por los siguientes criterios:

- Por impacto.
- Por tiempo de recepción del artículo.
- Enfoque de la temática.

Si un artículo tiene una mayor puntuación en base a estos criterios este tendrá prioridad para ser publicado, los otros artículos que fueron aprobados, pero no publicados en el actual número estarán en el estatus de **espera** hasta el próximo número.

6. Política de acceso y reúso

Los artículos científicos publicados en la RIDTEC son de exclusiva propiedad de sus autores. Todas las opiniones y contenidos expresados en la revista pertenecen a sus autores, siguiendo los lineamientos del documento "**Declaración de ética de publicación**", la UTP declina de toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura, interpretación y uso del contenido de los trabajos publicados.

Los autores deben acatar el principio de libre acceso en revista científicas. Por lo tanto, todos los contenidos deben estar disponibles gratuitamente al público, con el objetivo de fomentar un intercambio de conocimiento científico-académico internacional mediante nuestra plataforma Open Journal System (OJS).

7. Correspondencia o comunicaciones

Para la correspondencia, suscripciones o envío de documentación, sírvase hacerlo a siguiente dirección:

Universidad Tecnológica de Panamá
Editorial Tecnológica

Apartado 0819-07289, El Dorado, Ciudad de Panamá, República de Panamá

Además, para una comunicación directa, usted puede escribirnos al siguiente correo electrónico revista.idtecnologico@utp.ac.pa

8. Conceptos fundamentales de interés

Esta sección tiene el objetivo de ilustrar a nuestros autores y lectores sobre conceptos fundamentales de investigación y desarrollo experimental (I+D)³, y redacción científica⁴.

La I+D comprende el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones.

El término I+D engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. A continuación se definen cada una de estas actividades.

- La **investigación básica** consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.

- La **investigación aplicada** consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos y está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.
- El **desarrollo experimental** consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora de los ya existentes.

En cuanto a la redacción científica, su característica fundamental es la claridad. El éxito de la experimentación científica es el resultado de una mente clara que aborda un problema claramente formulado y llega a unas conclusiones claramente enunciadas. Idealmente, la claridad debería caracterizar todo tipo de comunicaciones; sin embargo, cuando se dice algo por primera vez, la claridad es esencial.

La mayoría de los artículos científicos publicados en las revistas de investigación primarias se aceptan precisamente porque aportan realmente conocimientos científicos nuevos. Por ello, debe exigirse una claridad absoluta en la redacción científica. Para una mejor comprensión entre los tipos de trabajos científicos, presentamos las siguientes definiciones:

- **Artículo científico:** informe escrito y publicado que describe resultados originales de una investigación.
- **Artículo de revisión:** no es una publicación original y su estructura es diferente a la de un artículo de investigación. Ofrece una evaluación crítica de los trabajos publicados y llegan a conclusiones importantes.
- **Ensayos cortos:** son el resultado de un examen crítico de artículos de investigación científica publicados, en donde se resaltan los trabajos más importantes o los que han brindado mayor aporte al conocimiento en una área determinada.

Los conceptos fueron extraídos de los siguientes documentos:

¹<http://www.researcherid.com/>, Thomson Reuters

²<https://www.rekursocientificos.fecyt.es/>, FECYT

³“Manual de Frascati”, 2003, FECYT y Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

⁴“Cómo escribir y publicar trabajos científicos”, 2005, Roberto Day

Portal de
REVISTAS ACADÉMICAS UTP[INICIO](#) [ACERCA DE](#) [ÁREA PERSONAL](#) [BUSCAR](#)[Inicio](#) > **Portal de Revistas Académicas UTP****Portal de Revistas Académicas UTP**

Bienvenido al Portal de Revistas Académicas de la Universidad Tecnológica de Panamá. Este sitio es un componente del proyecto Repositorio Institucional (UTP-Ridda2). Muestra la producción científica de docentes, investigadores y estudiantes. Iniciativa que desarrolla la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, la Dirección de Comunicación Estratégica y Editorial Universitaria, con el apoyo de las autoridades de esta casa de estudios.

[A](#) [B](#) [C](#) [D](#) [E](#) [F](#) [G](#) [H](#) [I](#) [J](#) [K](#) [L](#) [M](#) [N](#) [Ñ](#) [O](#) [P](#) [Q](#) [R](#) [S](#) [T](#) [U](#) [V](#) [W](#) [X](#) [Y](#) [Z](#) [Todo](#)**I+D Tecnológico**

Desde 2002 se propuso la edición de la Revista de I+D Tecnológico (*P-ISSN 1680-8894 & E-ISSN 2219-6714*), con el propósito de promover la labor de investigación en el ámbito nacional e internacional.

La Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) es una revista abierta (OA) evaluada por pares (doble ciego) con publicación semestral de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), especializada en las áreas de las ciencias básicas e ingeniería y otras áreas del conocimiento.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)**Prisma Tecnológico**

Prisma Tecnológico (*P-ISSN 2076-8133 & E-ISSN 2312-637X*)

Es una publicación anual de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) bajo el sello Editorial Tecnológica. Es una revista abierta, indexada a Latindex, que ofrece artículos de contenido tecnológico y científico multidisciplinarios, su objetivo es divulgar conocimiento técnico-científico, comunicar temas de ingeniería, ciencias básicas y exactas, y presentar temas sociales desde una perspectiva técnica-científica, a profesionales y estudiantes de las diversas áreas de la ingeniería, así como al público nacional e internacional, de manera comprensible y amena, con claridad, amplitud y responsabilidad.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)**Revista de Iniciación Científica**

RIC (*P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786*), es una revista abierta a la difusión, a los intercambios y a los debates de interés de la comunidad universitaria, esencialmente a nivel de pregrado, con el objetivo de promover la creación, la expresión y la diseminación de trabajos novedosos y empíricos. En RIC se publican, prioritariamente trabajos originales relacionados con los temas de ciencias, tecnología e ingeniería, desarrollados por estudiantes de licenciatura, en español, portugués o en inglés, incluyendo resultados de trabajos de términos de grado y otros trabajos de investigación desarrollados en pregrado.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)**OPEN JOURNAL SYSTEMS****Servicio de ayuda de la revista****USUARIO/A**

Ha iniciado sesión como...

dannym

- Mis revistas
- Mi perfil
- Cerrar sesión
- Cerrar sesión de usuario/a

IDIOMA

Escoge idioma

Spanish

Entregar

CONTENIDO DE LA REVISTA

Buscar

Ámbito de la búsqueda

Todo

Buscar

**UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA
DE PANAMÁ**

El **Portal de Revistas Académicas UTP**, es un componente del proyecto **UTP-RIDDA2** (Repositorio institucional de acceso abierto de la Universidad Tecnológica de Panamá).

Componentes del Repositorio Institucional

- Portal de Revistas
- Repositorio de Investigación
- Repositorio de Tesis
- Repositorio de Organizacional
- Repositorio de Académico

Objetivo General del Portal de Revistas

Mejorar la visibilidad de las publicaciones científicas de la Institución a nivel nacional e internacional a través del uso de un sistema de gestión, de información y de consulta ágil y de uso internacional.

Visítenos en:<http://www.revistas.utp.ac.pa>

No es necesario registrarse para tener acceso a los contenidos de las revistas

Camino a la excelencia a través del mejoramiento continuo



Universidad Tecnológica de Panamá
Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,
Edificio de Postgrado, Planta Baja.
Teléfono: (507) 560-3703 | (507) 560-3442
Correo Electrónico: editorial@utp.ac.pa
Web: www.utp.ac.pa
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado,
Panamá, República de Panamá.