



2016

INTELIGENCIA AMBIENTAL , INGENIERÍA DE SOFTWARE Y SALUD ELECTRÓNICA & MÓVIL (AmISEmeH)

1st International Conference on Ambient Intelligence, Software Engineering and Electronic
& Mobile Health

EDITOR: Dr. VLADIMIR VILLARREAL
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ

ISBN: 978-9962-698-35-7

Prefacio

La **Universidad Tecnológica de Panamá**, la **Fundación Tecnológica de Panamá**, el **Grupo de Investigación en Tecnologías Computacionales Emergentes (GITCE)** y la **Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT)** ha organizado el **I Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil** (*1st International Conference in Ambient Intelligence, Software Engineering and electronic and mobile Health Solutions - AmISEmeH 2016*).

Este evento tiene como meta, sembrar los cimientos para que nuestra Universidad, sea reconocida en el área de TIC a nivel nacional e internacional, como una institución promotora del desarrollo e investigación entre estudiantes, docentes e investigadores. Es por ello, que los resultados esperados se centran en dar a conocer la capacidad que tenemos de organizar, promover y difundir actividades orientadas al proceso investigativo y dar a conocer los trabajos que desarrollan tanto los estudiantes como los docentes.

El programa de este evento cubre tópicos como redes de sensores, ingeniería de software aplicada a salud, interacción persona – computador, salud electrónica, computación ubicua, inteligencia ambiental, salud móvil y métodos formales aplicados a la ingeniería.

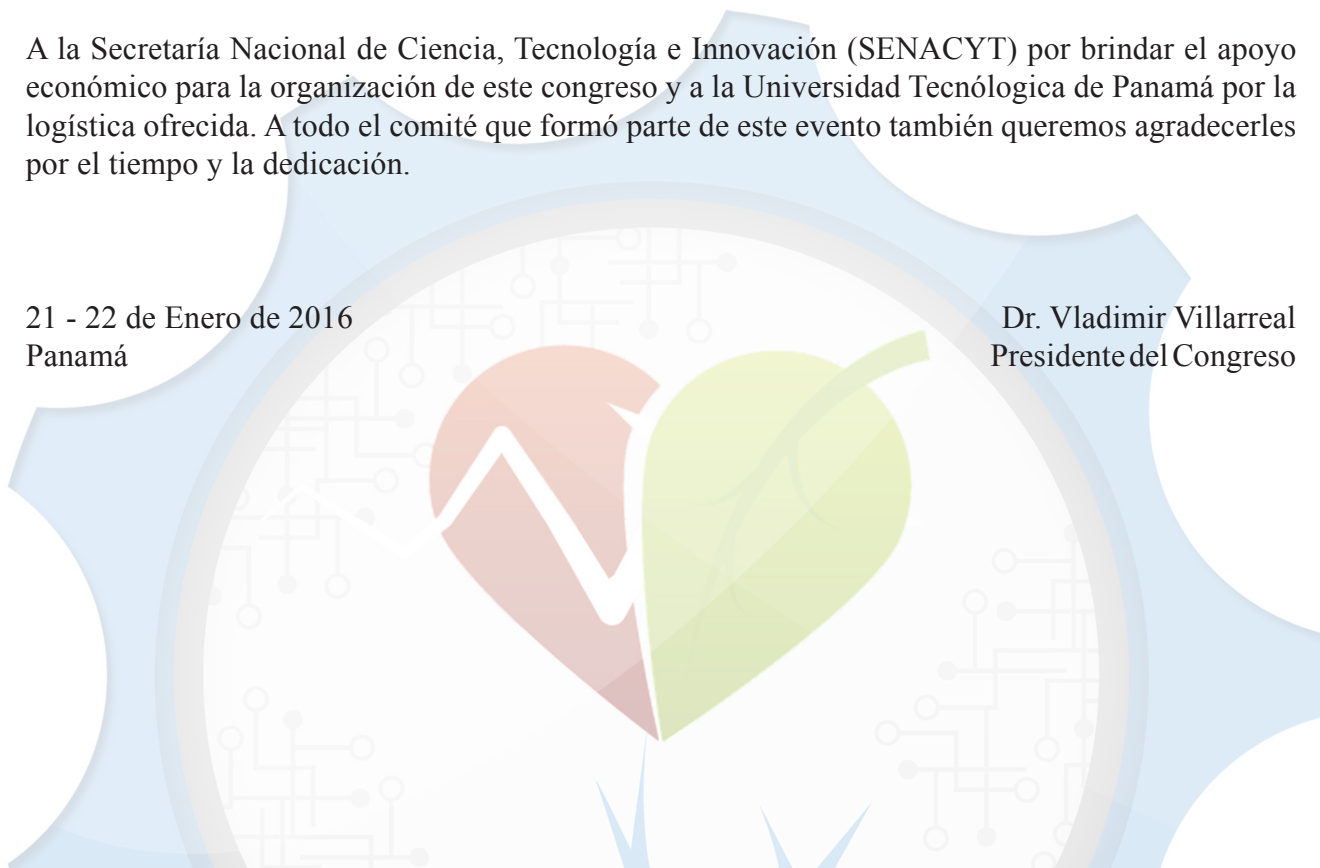
Hemos recibido 18 artículos, que fueron evaluados por al menos dos revisores nacionales o internacionales de países como España, Mexico, Colombia, Costa Rica, Chile y Panamá. Hemos aceptado 14 artículos para ser presentados el día del evento.

Queremos agradecer a los conferencistas internacionales **Dr. José Bravo (España)**, **Dr. Luis Guerrero (Costa Rica)**, **Dr. Pritpal Singh (USA)**, **Dr. Juan Manuel García Chamizo (España)**, **Dr. Noel García Díaz**, **Dr. Jesús Favela (Mexico)** y al **Dr. Javier Sanchez Galán (Panamá)** por acompañarnos en este evento.

A la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por brindar el apoyo económico para la organización de este congreso y a la Universidad Tecnológica de Panamá por la logística ofrecida. A todo el comité que formó parte de este evento también queremos agradecerles por el tiempo y la dedicación.

21 - 22 de Enero de 2016
Panamá

Dr. Vladimir Villarreal
Presidente del Congreso



Presidente del Congreso

Vladimir Villarreal, Panamá

Comité Organizador

Lilia Muñoz, Panamá
Yarisol Castillo, Panamá
Franklin Hislop, Panamá (Q.E.P.D)
Irlesa Sanchez, Colombia
Fernando Rojas, Colombia

Comité Científico

Jesus Fontecha, España
Jose Bravo, España
Ramon Hervas, España
Gabriel Urzaiz, Mexico
Elia Cano, Panamá
Carlos Rovetto, Panamá
Gerais Garrido, Panamá
Nilda Yanguéz, Panamá

Comité de Programa

Jesus Fontecha, España
Jose Bravo, España
Ramon Hervas, España
Gabriel Urzaiz, Mexico
Elia Cano, Panamá
Carlos Rovetto, Panamá
Hector Becerra, Mexico
Mauricio Antelis, Mexico
Javier Sánchez Galán, Panamá
Nilda Yanguéz, Panamá
Gabriel Chavira, Mexico
Jesús Favela, Mexico
Sergio Ochoa, Chile
Marcela Rodriguez, Mexico
Juan Manuel García-Chamizo, España
Vladimir Villarreal, Panamá

Tabla de Contenido

APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN LA ORIENTACIÓN VOCACIONAL <i>Nelson Marcelo Romero Aquino, Eustaquio Alcides Martínez Jara</i>	4
PROCESO DE DISEÑO DE LA INTERFAZ DE UN SISTEMA INTERACTIVO EDUCATIVO ORIENTADO A LA REEDUCACIÓN DE LAS DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE QUE PRESENTAN LOS NIÑOS CON DISLEXIA EN PANAMÁ <i>Díaz Q. María de Jesús</i>	9
HACIA LA M-REHABILITACIÓN DE PACIENTES A TRAVÉS DE DISPOSITIVOS INTELIGENTES <i>Vladimir Villarreal</i>	17
INTEROPERABILIDAD EN EL PROCESO DE AUTORIZACIÓN DE SERVICIOS DE SALUD BASADO EN HL7-FHIR <i>Boris González, Helga Duarte</i>	23
DISEÑO DE ESTRATEGIAS TECNOLÓGICAS E INTEGRACIÓN CON EL PLAN DE NEGOCIOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE GESTIÓN TECNOLÓGICA. <i>Martínez, Yoni Enrique</i>	31
MATRIZ DE SENSORES: FUNDAMENTO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA <i>Iveth Moreno, José Serracín</i>	37
PLATAFORMA UBICUA PARA LA GESTIÓN DE CUIDADOS PALIATIVOS EN PANAMÁ <i>Juan Saldaña , Luis Mendoza, Miguel Vargas</i>	40
CARACTERIZACIÓN EN EL MANEJO DE LOS DESECHOS COMPUTACIONALES EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS PÚBLICA DEL MUNICIPIO DE ARAUCA (COLOMBIA). <i>Luis Hermes Mayorga, Nini Paola Duran</i>	45
LABORATORIOS VIRTUALES DE FÍSICA MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DISPONIBLES EN LA WEB <i>Jaime Malqui Cabrera Medina, Irlesa Indira Sánchez Medina</i>	49
TCP/IP COMMUNICATION FOR A 3 DE-MANUFACTURING TRANSPORT LINE <i>David A. Amezquita Martinez, Andrea Cataldo, Ricardo E. Ramírez Heredia</i>	55
LA INCLUSIÓN POR LA SALUD EN ESTUDIOS DE LAS ANTENAS DE TELEFONÍA MOVIL <i>Geyni Arias Vargas, Irlesa Indira Sánchez Medina y Jaime Malqui Cabrera</i>	60
UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIDEOJUEGOS <i>MS.c Jose Angel Gonzalez Gill, Efraín Perez</i>	64
UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA GAMIFICACIÓN DE PRUEBAS PSICOMÉTRICAS. UN CASO PRÁCTICO. <i>MS.c Jose Angel Gonzalez Gill</i>	71
CLASE RED DE PETRI PARA USOS DE RECURSOS BINARIOS ORDENADOS <i>Dr. Carlos A. Rovetto, Ing. Tomas J. Concepción y Dra. Elia E. Cano</i>	79

Aplicación de Redes Neuronales Artificiales en la Orientación Vocacional

Nelson Marcelo Romero Aquino

Dirección de Investigación
Facultad Politécnica - UNE
Ciudad del Este, Paraguay
nmarceloromero@gmail.com

Eustaquio Alcides Martínez Jara

Dirección de Investigación
Facultad Politécnica - UNE
Ciudad del Este, Paraguay
ealcidesmartinez@gmail.com

Resumen- Este trabajo propone un sistema con capacidad de generar recomendaciones vocacionales, implementando técnicas de inteligencia artificial. El objetivo es proporcionar una alternativa de solución al problema de selección de profesión de los jóvenes al finalizar sus estudios secundarios. Para validar la propuesta, un grupo de individuos compuesto por alumnos de dos colegios secundarios de la región fueron sometidos a pruebas de orientación vocacional a través de un sitio web diseñado y construido para el efecto. Enseguida, con la ayuda de un profesional se determinaron las áreas vocacionales recomendadas para cada sujeto. Los resultados de los tests, así como las recomendaciones profesionales fueron utilizados como datos de ejemplo para someter al sistema a un proceso de aprendizaje con lo que la herramienta propuesta, logró proporcionar recomendaciones coherentes y de forma autónoma.

Palabras claves: Redes neuronales artificiales; Inteligencia artificial; Selección de personas; Orientación vocacional

I. INTRODUCCIÓN

Para seleccionar una carrera profesional durante los últimos años de la etapa escolar, las pruebas de orientación vocacional se constituyen en herramientas útiles y muy utilizadas por los estudiantes. Los resultados de estas pruebas proporcionan datos que relacionan a una persona con distintas áreas y indican el nivel de pertenencia a las mismas. Si bien la mayoría de las pruebas vocacionales proporcionan resultados fácilmente interpretables por cualquier individuo [1], sin embargo existen otras cuya interpretación es posible únicamente con la asistencia de un profesional o a través de un exhaustivo análisis y estudio de los distintos aspectos que enumera el test y la relación de dichos aspectos con las diversas profesiones que un individuo tiene como opción [2]. Esto constituye un problema no menor, debido a que en ocasiones, no es posible contar con la asistencia de un especialista.

Las Redes Neuronales Artificiales (RNAs) son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático, basado en el funcionamiento del sistema nervioso de los seres vivos, y cuyo objetivo es el procesamiento de información para la resolución de problemas [3]. La principal característica de las RNAs es su capacidad para construir un sistema capaz de resolver problemas de clasificación y predicción de patrones a través de un proceso de aprendizaje en el que la RNA recibe datos de ejemplo (soluciones) para el problema que se pretende modelar, y que se han obtenido previamente. No son necesarios algoritmos o modelos definidos previamente, para que una Red Neuronal encuentre la solución a un problema en particular, sólo son necesarios los datos de ejemplo.

Teniendo en cuenta la mencionada característica, la propuesta plantea la implementación de una Red Neuronal Artificial capaz de recomendar áreas vocacionales en base a las informaciones obtenidas en pruebas de orientación vocacional, teniendo como principal objetivo proponer una alternativa de solución al problemática consistente en que el joven, que

finaliza sus estudios secundarios, no cuenta con la posibilidad de interpretar los resultados obtenidos en pruebas vocacionales, o tras combinar los resultados de dos o más pruebas.

Se propone resolver el problema utilizando Redes Neuronales debido a que el problema de recomendación de áreas vocacionales no puede ser programado tradicionalmente (al tratarse las recomendaciones de un conjunto de opiniones subjetivas que naturalmente no comprenden un modelo identificable) sino que sólo se cuenta con datos de ejemplos (las recomendaciones vocacionales para un cierto conjunto de resultados de un individuo en un test vocacional) que el sistema debe ser capaz de comprender y emular [3].

A. Orientación vocacional

La orientación vocacional está asociada al área de la selección de personal y existen trabajos que han buscado resolver problemas de dicha índole mediante la implementación de RNAs. A continuación se exponen algunos.

- Selección de personal mediante redes neuronales artificiales [4].
- Análisis de rendimiento académico estudiantil usando data *warehouse* y redes neuronales [5].
- Predicción del rendimiento de los estudiantes y diagnóstico usando redes neuronales [6].
- Redes neuronales artificiales para la asistencia de diagnósticos psiquiátricos [7].

B. Hipótesis

Es posible construir un sistema capaz de reproducir con exactitud el proceso por el cual un profesional del área de la psicología utiliza sus conocimientos y experiencias para analizar los resultados obtenidos por un individuo en una o varias pruebas vocacionales y posteriormente otorgar una recomendación vocacional.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron dos pruebas vocacionales: el Inventario de Intereses de Hereford y el Test de Aptitudes Diferenciales (DAT).

El primero es un cuestionario de 90 preguntas que son respondidas numéricamente seleccionando un número del 1 al 5. Cada pregunta forma parte de una determinada área de interés, por ejemplo “tocar un instrumento musical” forma parte del área Musical, mientras que “Leer a los clásicos” es una pregunta referente al área de Literatura.

El segundo está constituido por 8 formularios que contienen distintos tipos de ejercicios, cuya cantidad varía en cada caso. El resultado de cada formulario del test DAT proporciona una estimación numérica que representa la capacidad o aptitud del individuo para desempeñarse en un área determinada.

A diferencia del inventario de intereses de Hereford, en el que no hay resultados incorrectos sino que únicamente estimaciones de grados de interés, las respuestas a los ejercicios de los formularios del test DAT pueden estar correctas o incorrectas [2]. Ambos test se pusieron a disposición en un sitio web programado en HTML [8] y PHP [9].

Un total de 78 alumnos del nivel medio del Colegio Sembrador y del Centro Regional de Educación Dr. José Gaspar Rodríguez de Francia, ambas instituciones de Ciudad de Ciudad del Este, Paraguay, completaron ambas pruebas vocacionales accediendo al mencionado sitio.

Una vez reunidas todas las muestras, consistentes en los resultados de los alumnos en las dos pruebas vocacionales, se realizaron las recomendaciones vocacionales y, posteriormente, la red neuronal artificial fue implementada.

La estructura de datos establecida para el tratamiento de los mismos, tanto para efectuar la recomendación como para implementar la red neuronal ha sido la siguiente:

- Datos de entrada: resultados de las pruebas vocacionales, que comprenden 17 ítems (9 resultados de la prueba Hereford y 8 resultados del test DAT) normalizados, valores numéricos comprendidos entre 0 y 1.
- Datos de salida: recomendaciones vocacionales compuesto por cuatro ítems binarios, que pueden tomar valores 0 o 1. Cada ítem representa un área vocacional (Física/Matemática, Químico/Biológica, Ciencias Sociales, Humanidades/Artes). El valor de salida del ítem determina si el área vocacional al que éste hace referencia es recomendada (valor 1) o no (valor 0).

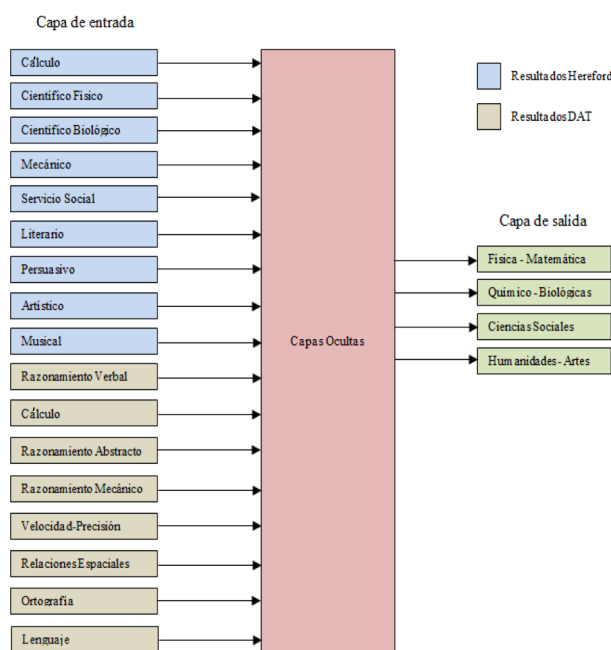


Figura 1. El primer diseño de la RNA.

Los datos de entrada se han diseñado de dos formas. La RNA se ha implementado utilizando ambas estructuras. En la primera se utilizaron como datos de entrada los resultados obtenidos por los sujetos en las dos pruebas vocacionales: el inventario de intereses de Hereford, y el test DAT.

La segunda estructura se ha basado únicamente en la utilización de los resultados de una de las pruebas, los del test DAT. La primera estructura puede ser vista en la Figura 1.

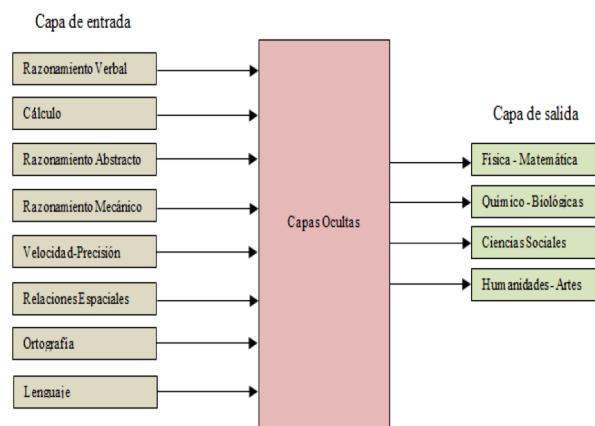


Figura 2. El segundo diseño de la RNA.

La estructura, en la que se utilizan sólo los resultados del test DAT como variables de entrada, se puede ver en la Figura 2. En ambos casos la cantidad de neuronas de salida permanece inalterable.

Una vez que se han hecho todas las recomendaciones correspondientes para cada sujeto, se ha dividido las muestras en dos grupos: 60 % para el entrenamiento de la red y 40 % para la prueba.

El modelo de RNA utilizado ha sido el Perceptrón Multicapa [10] (MLP o Multilayer Perceptron), un tipo de red neuronal que incorpora más de una capa de unidades de procesamiento; fue introducido para poder resolver problemas que no son linealmente separables. La arquitectura típica de un MLP se puede visualizar en la Figura 3.

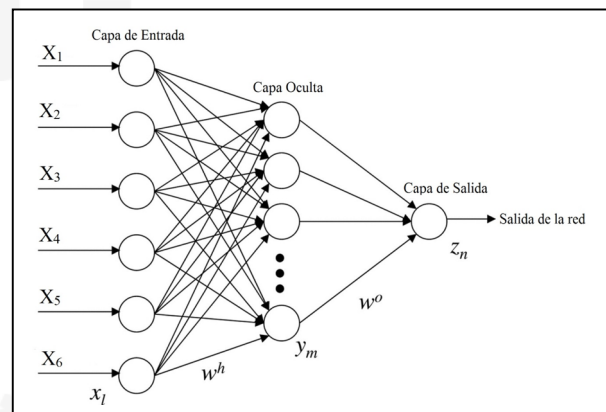


Figura 3. Arquitectura de un MLP.

El algoritmo de aprendizaje, que actualiza los pesos sinápticos de la red, es el de Levenberg-Marquardt [11], que es una modificación del método de Newton. Fue diseñado para acercarse a la velocidad del entrenamiento de segundo orden sin tener que calcular la matriz Hessiana y tiene un excelente desempeño en el entrenamiento de redes neuronales en las que el rendimiento esté determinado por el error cuadrático.

Cuando la función de error tiene la forma de una suma de cuadrados, la matriz Hessiana de la función de suma del cuadrado de los errores y la pendiente, pueden aproximarse, respectivamente, de la siguiente forma:

$$H = J^t J \tag{1}$$

$$g = J^t \cdot e \tag{2}$$

En donde J es una matriz Jacobiana que contiene las primeras derivadas de los errores de la red con respecto a los pesos, y e es el vector que contiene los errores de la red. Los valores que posteriormente son derivados para la matriz Jacobiana pueden ser obtenidos a través de una técnica de retropropagación estándar, que es mucho menos complejo que realizar el cálculo de la matriz Hessiana.

El algoritmo Levenberg-Marquardt adapta el método de Newton y utiliza la aproximación a la matriz Hessiana. El cálculo de los nuevos pesos queda definido, finalmente, por la siguiente ecuación:

$$w_{k+1} = w_k - [J^t J + \lambda I]^{-1} J^t e \quad (3)$$

La constante λ determina la tendencia del algoritmo, cuando es muy pequeño y tiende a cero, y el algoritmo es el método de Newton con la matriz Hessiana aproximada. Cuando λ es grande el algoritmo se convierte en el tradicional descenso por gradiente con un tamaño del paso pequeño. I es la matriz identidad.

La red neuronal artificial se ha implementado utilizando un programa de cálculos matemáticos para las dos estructuras de datos de entrada vistas con anterioridad, y se ha llevado a cabo una etapa de experimentación en la que se ha buscado una configuración de red que otorgara recomendaciones que fueran lo más aproximadas posibles a las recomendaciones hechas con asistencia del especialista, lo cual se puede comprobar contrastando la salida de la red tras procesar los datos de prueba (40 % de las muestras) con la salida esperada para esos datos de prueba.

Durante la experimentación se han ido alterando los siguientes parámetros buscando obtener una efectividad aceptable:

- Cantidad de neuronas en cada capa: cantidad de unidades procesadoras en la capa de entrada, de salida y en las ocultas de la red.
- Cantidad de capas ocultas: la red multicapa por definición se compone de una sola capa de neuronas de entrada y otra de salida. La cantidad de capas ocultas puede variar de acuerdo a las necesidades del problema.
- Función de activación de cada capa: es una función que se aplica sobre el producto escalar del vector de entrada y el vector de pesos en una neurona. Determina el valor de salida de la unidad de procesamiento.
- Objetivo (Goal): el error mínimo esperado. La función de desempeño utilizada ha sido la del error cuadrático medio.
- Iteraciones (It): cantidad de épocas o de actualizaciones de los vectores de pesos de la red neuronal.
- Gradiente mínimo (Min grad): el desempeño mínimo de la gradiente.
- Valor máximo para lambda (Max λ): λ es un valor adaptativo que determina la tendencia del algoritmo.

Para comprobar la eficiencia de las distintas configuraciones de red en el proceso de prueba, se han utilizado gráficos ROC.

III. RESULTADOS

Además de un análisis basado en la comparación en bruto entre la salida deseada y la proporcionada por la red, en donde el vector de salida de la red debe coincidir exactamente con el vector que representa la recomendación del psicólogo para ser considerada como una recomendación correcta, también se han utilizado los gráficos ROC (Receiver Operating Characteristic).

En un gráfico ROC, cada curva o línea representa la efectividad de una neurona de salida de la red neuronal, al haber cuatro neuronas de salida existen cuatro curvas. El gráfico muestra la relación entre la Tasa de Verdaderos Positivos (TVP) y la Tasa de Falsos Positivos (TFP). Cuanto mayor sea la TVP y menor sea la TFP, los resultados son más precisos para dicha neurona.

Las distintas configuraciones de RNAs en las que se han utilizado dos tests vocacionales han sido descartadas tras la experimentación, por no lograr una eficiencia aceptable.

En la Tabla 1 se presentan cuatro configuraciones estructurales (cantidad de neuronas, funciones de transferencia para cada capa) y de entrenamiento (iteraciones, gradiente mínimo, objetivo y valor máximo para λ) utilizadas para la RNA cuyo vector de entrada estaba constituido por los resultados de dos test vocacionales.

Tabla 1. Configuraciones para RNA con salida Hereford y DAT.

	Neuronas por Capa	Función Capa Oculta 1	Función Capa Salida	It	Min grad	Goal	Max λ
A	[4,4]	sigmoidal	sigmoidal	700	10^{-4}	10^{-4}	10^{300}
B	[20,4]	sigmoidal	sigmoidal	700	10^{-4}	10^{-4}	10^{300}
C	[20,4]	lineal	sigmoidal	700	10^{-100}	10^{-10}	10^{300}
D	[10,4]	sigmoidal	sigmoidal	3000	10^{-100}	10^{-10}	10^{300}

La Figura 4 presenta el gráfico ROC de la RNA con la configuración D, de la Tabla I. En este gráfico se observa que una de las neuronas ha tenido una TVP mayor a 0,9 y una TFP menor a 0,3; si bien estas tasas demuestran que para dicha neurona en particular la RNA realiza buenas clasificaciones, hay otras neuronas cuyos resultados no tienen la misma precisión, como la observada en la curva verde, la cual tiene una TVP inferior a 0,5 y una TFP cercana a 0,4 lo cual indica que para esta neurona la red provee resultados casi aleatorios. Las demás configuraciones de RNA han proporcionado resultados similares.

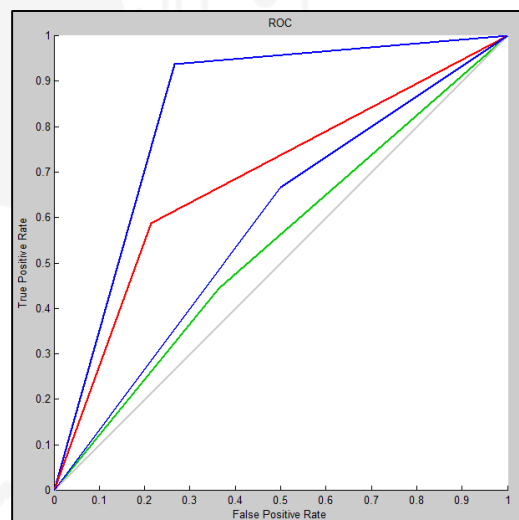


Figura 4. Gráfico ROC de la primera RNA con la configuración D.

La red neuronal con los mejores resultados es una de las que ha tenido como valores de entrada los resultados de un solo test. Un análisis de comparación en bruto demuestra que dicha red ha ofrecido un total de 25 (80,6 %) recomendaciones que coinciden exactamente con aquellas hechas con asistencia

profesional, mientras que las recomendaciones no coincidentes han sido 6 (19,4 %).

En la Tabla 2 se presentan las configuraciones utilizadas para las RNAs cuyo vector de entrada estaba compuesto únicamente en los resultados del test DAT, entre las cuales se encuentra la red con configuración G, que ha proporcionado los mejores resultados, ya mencionados con anterioridad.

Tabla 2. Configuraciones para RNA con salida DAT.

	Neuronas por Capa	Función Capa Oculta 1	Función Capa Oculta 2	Función Capa Salida	It	Min grad	Goal	Max λ
A	[10,4]	softmax	X	sigmoidal	10^3	10^{-6}	10^{-6}	10^{300}
B	[10,4]	sigmoidal	X	sigmoidal	10^3	10^{-6}	10^{-6}	10^{300}
C	[20,4]	sigmoidal	X	sigmoidal	10^3	10^{-6}	10^{-6}	10^{300}
D	[20,4]	sigmoidal	X	sigmoidal	10^3	10^{-10}	10^{-10}	10^{300}
E	[40,4]	sigmoidal	X	sigmoidal	10^3	10^{-10}	10^{-10}	10^{300}
F	[50,4]	sigmoidal	X	sigmoidal	10^3	10^{-12}	10^{-12}	10^{300}
G	[10,10,4]	sigmoidal	sigmoidal	sigmoidal	10^3	10^{-10}	10^{-10}	10^{300}
H	[20,20,4]	lineal	sigmoidal	sigmoidal	10^3	10^{-10}	10^{-10}	10^{300}

En la Figura 5 se presenta el gráfico ROC de la red con la configuración G, detallada en la Tabla 2.

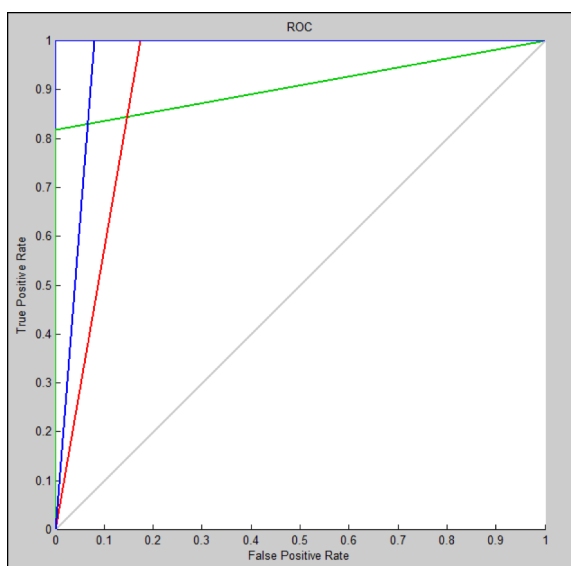


Figura 5. Gráfico ROC de la RNA con la mejor configuración.

En la Figura 5 se puede observar que en todos los casos la TFP ha sido menor o igual a 0,2 y la TVP ha sido mayor a 0,8; incluso para una de las neuronas se observa un 100 % de precisión, con una TVP con valor 1 y una TFP con valor 0. Por lo tanto, la red proporciona resultados aceptables.

Cabe destacar que las curvas ROC presentadas en este trabajo no tienen la estructura que usualmente se visualiza en este tipo de gráficos (en todos los casos son curvilíneas y no con tendencias rectilíneas). El motivo de esta diferencia se origina en la estructura de los vectores de salida, tanto el de salida esperada como el de salida obtenida, que son utilizados como base para el cálculo de las tasas ROC: los mencionados vectores pueden tener más de un elemento activo (valor 1) al mismo tiempo; mientras que en casos ordinarios para aplicar gráficos ROC se utilizan vectores que pueden tener únicamente

un elemento activo para cada vector de salida, es decir, cada objeto de estudio puede pertenecer únicamente a una clase.

A pesar de que ésta no es una forma tradicional de aplicar análisis ROC, las tasas y los gráficos ROC obtenidos se han constituido útiles para la evaluación de los resultados del trabajo y por lo tanto considerados válidos.

IV. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, principalmente para la segunda RNA que ha logrado Tasas de Verdaderos Positivos mayores a 0,8 y Tasas de Falsos Positivos menores a 0,2, en todas sus neuronas de salida (dada una determinada configuración estructural y de entrenamiento), se puede afirmar que es factible modelar y representar la subjetividad a través de la implementación de Redes Neuronales Artificiales, entendiéndose a la subjetividad como una opinión o recomendación que tiene como base una apreciación personal de un especialista o que es realizada con asistencia del mismo.

Se ha desarrollado un sistema capaz de efectuar recomendaciones con un alto grado de acierto con respecto a las que son realizadas por un psicólogo (80,2 % para la red con mayor precisión). Sin embargo, para llegar a este resultado, el modelado de los datos que son tratados por la red debe hacerse de tal modo que los valores de entrada estén estrechamente relacionados entre sí y que exista un patrón de salida determinado que pueda ser reconocido por la red durante su proceso de entrenamiento, como ha ocurrido cuando la red ha sido entrenada utilizando solamente como valores de entrada los resultados del test DAT. En caso contrario, se pronostica, de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, que ocurrirá lo que ha sucedido cuando se utilizaron los resultados tanto del test DAT como del test Hereford como valores de entrada de la red (la red proporciona resultados con bajas TVPs y altas TFPs para sus neuronas), en donde se considera que no existe cohesión entre los resultados de ambos tests, al ser éstos fuentes de estimaciones muy dispares e incluso contradictorias: el primero ofrece evaluaciones acerca de las aptitudes o capacidades del individuo mientras que el otro lo hace acerca de los intereses.

Las características personales de los individuos que realizan las pruebas vocacionales y sus resultados obtenidos no implican un riesgo de que el sistema realice recomendaciones erróneas. Sin embargo, los criterios que el profesional tiene en cuenta para realizar las recomendaciones durante el proceso de entrenamiento sí pueden llevar a que la red aprenda de una forma incorrecta y que, en consecuencia, no recomiende con precisión. Esto ocurriría en caso de que el análisis que haya realizado el profesional sobre las muestras, le lleven a efectuar recomendaciones aleatorias o casi aleatorias, así como también en caso de que el tiempo que le tome realizar las recomendaciones sea demasiado largo como para que sus criterios varíen durante ese período.

V. CONCLUSIÓN

Ha sido desarrollado un sistema capaz de recomendar un área vocacional a uno o varios individuos tras un análisis de los resultados que éstos han obtenido en pruebas vocacionales de aptitudes. Es importante aclarar, sin embargo, que para generar dicha recomendación el sistema sólo tiene en cuenta una serie de variables de entrada que estiman la capacidad que posee el sujeto para desempeñarse en determinadas áreas en el futuro, pero no contempla otros factores de carácter psicológico, social, familiar, económico o de otra índole que también tienen influencia directa en el aprovechamiento de las aptitudes del

individuo al momento de que éste tenga que desenvolverse en las mencionadas áreas.

REFERENCIAS

- [1] Lázara Grupo Editor, SA. Test CHASIDE de orientación vocacional y laboral, 2011. Sitio web: <http://www.estudios.com.ar/test-orientacion-vocacional.html>
- [2] Velásquez Ospina, F.A. “¿En qué consiste la quinta edición del D.A.T? Una aproximación actualizada a la medición de actitudes”, *Avances en Medición*, Vol. 6, pp. 175–182, 2008.
- [3] Russell, S., Norvig, P. *Inteligencia Artificial - Un enfoque moderno*, 2da ed., Madrid, 2004.
- [4] Acevedo, G., Caicedo, E., Loaiza, H. “Selección de personal mediante redes neuronales artificiales”, *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, Vol. 14, Nro 1, 2007, pp. 7-20.
- [5] Zambrano, C., Rojas, D., Carvajal, K., Acuña, G. “Análisis de rendimiento académico estudiantil usando data warehouse y redes neuronales”, *Ingeniare - Revista chilena de ingeniería*, Vol. 19, Nro 3, 2011, pp. 369-381.
- [6] Cataldi, Z., Salgueiro, F., Lage, F. “Predicción del rendimiento de los estudiantes y diagnóstico usando redes neuronales artificiales”, *XIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*, España, 2006.
- [7] Zou, Y., Shen, Y., Shu, L., Wang, Y., Feng, F., Xu, K., Ou, Y., Song, Y., Zhong, Y., Wang, M., Liu, W. “Artificial neural network to assist psychiatric diagnosis”, *Br J Psychiatry*, Vol. 169, Nro 1, Julio 1996, pp. 7-64.
- [8] Tabárez Gutiérrez, R. “El inicio de la web: historia y cronología del hipertexto hasta HTML 4.0 (1990-99)”, *ArtefáCToS*, Vol. 5, 2012.
- [9] Hills, M., Klint, P., Vinju, J. “An empirical study of PHP feature usage: a static analysis perspective”, *Proceedings of the 2013 International Symposium on Software Testing and Analysis*, pp. 325-335, 2013.
- [10] Panchal, G., Ganatra, A., Kosta, Y.P., Panchal, D. “Behaviour Analysis of Multilayer Perceptrons with Multiple Hidden Neurons and Hidden Layers”, *International Journal of Computer Theory and Engineering*, Vol. 3, No. 2, April 2011.
- [11] Sapna, S., Tamilarasi, A., Pravin, M., “Backpropagation learning algorithm based on Levenberg Marquardt algorithm”, *Computer Science & Information Technology (CS & IT)*, pp. 393-398, 2012.

Proceso de Diseño de la Interfaz de un Sistema Interactivo Educativo Orientado a la Reeducación de las Dificultades en el Aprendizaje que presentan los Niños con Dislexia en Panamá

María de Jesús Díaz Q.

Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación en las TIC's, CIDITIC
Universidad Tecnológica de Panamá, UTP
Panamá, Panamá
maria.diaz2@utp.ac.pa

Resumen- Este artículo tiene como objetivo presentar el proceso realizado para lograr el diseño de la interfaz de un sistema interactivo educativo, el cual está orientado a la reeducación de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños disléxicos en Panamá. Este diseño se realizó basado en investigaciones referentes a las técnicas tradicionales empleadas por los especialistas en dificultades en el aprendizaje (DIFA), literatura especializada referente al tema y evaluaciones de usabilidad de diversos prototipos diseñados en base a una Guía de Estilo. Adicional a ello, se plasma el resultado obtenido a través de evaluaciones al usuario final del sistema para el cual se realizó el diseño y se obtuvo una alta aceptación del mismo.

Palabras claves: *dislexia; diseño de interfaces; software educativo; dificultades en el aprendizaje; reeducación; guía de estilo; usabilidad.*

I. INTRODUCCIÓN

Para lograr el diseño de la interfaz de un sistema interactivo educativo orientado a la reeducación de las DIFA que presentan los niños con dislexia, primero se realizó una investigación sobre los métodos tradicionales que se utilizan para la reeducación de las DIFA que presentan los niños con dislexia en Panamá. Luego, se realizó un análisis del contenido de los métodos tradicionales investigados, lo cual llevó a la realización de una Guía de Estilo Orientada al Diseño de Interfaces de Sistemas Interactivos que apoyen la reeducación de las DIFA que presentan los niños disléxicos. Por medio de toda la investigación realizada y el resultado de la Guía de Estilo, se logró el Diseño de la Interfaz de un Sistema Interactivo Educativo Orientado a la Reeducación de las Dificultades en el Aprendizaje que presentan los Niños con Dislexia en Panamá.

Este artículo presenta las fases realizadas para el diseño de interfaces de este tipo. El mismo se organiza de la siguiente manera: en la sección II hablaremos sobre la Dislexia; la sección III presenta algunas definiciones referentes a el *Software* Educativo y la sección IV habla sobre el Diseño de Sistemas Interactivos; el Proceso de Diseño de la Interfaz de un Sistema Interactivo Educativo Orientado a la Reeducación de las Dificultades en el Aprendizaje que presentan los Niños con Dislexia en Panamá la encontrará en la sección V; y por último en la sección VI se encuentran las Conclusiones seguido por los agradecimientos y las referencias citadas en este artículo.

II. DISLEXIA

El término dislexia fue utilizado por primera vez por un oftalmólogo alemán y lo usó para describir las dificultades lectoras de pacientes adultos que habían sufrido un daño cerebral [1].

Según [2], el pediatra P. Morgan fue el primero en describir un caso de dislexia infantil, en un chico llamado Percy que a veces escribía su nombre como "Precy". El primer gran investigador en dislexia fue el oftalmólogo Samuel Orton, el cual estudió a unos 3 mil niños con problemas de lectura, escritura, y lenguaje. Éste quedó sorprendido de los errores latero espaciales cometidos en la escritura y de la alta frecuencia de dominancia mixta de ojo, pie y mano, indicando que el origen de este problema era una lateralización defectuosa del lenguaje [1].

Entre las décadas de los años cincuenta y sesenta, se enfatizaron los aspectos conductuales de la lectura, situando el origen de la dislexia en un retraso madurativo de las funciones viso perceptivas y motoras como consecuencia de un daño y/o una disfunción neurológica. En los 60, Donald Critchley acuñó el término dislexia del desarrollo, defendiendo también la opinión de que representaba un síndrome neurológico. En esta época, comienza a delimitarse la dislexia como un trastorno específico de aprendizaje de la lectoescritura, destacando las primeras definiciones el carácter inesperado de las dificultades con la lectura [3].

Una de las definiciones más utilizadas en la actualidad referente a la dislexia es la planteada por el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales. Según esta definición, el trastorno de la lectura, que se sitúa dentro de los trastornos del aprendizaje sumergidas en las Necesidades Educativas Especiales (NEE), se caracteriza por un rendimiento lector (esto es, precisión, velocidad o comprensión de la lectura evaluadas mediante pruebas normalizadas administradas individualmente) que se sitúa sustancialmente por debajo del esperado en función de la edad cronológica, del cociente de inteligencia y de la escolaridad propia de la edad del individuo [4].

A. Detección de la dislexia en Panamá

Se debe tener presente que el niño disléxico presenta las mismas dificultades en la lectoescritura por las que atraviesa el niño normal transitoriamente mientras está creciendo y aprendiendo, pero en el disléxico perduran más de lo usual [5].

Cuando el tratamiento o reeducación de la dislexia se inicia en los primeros años, los resultados son mejores, por lo que el tratamiento ideal consiste en la detección de los niños afectados cuando cursan el jardín de niños [6]. Para determinar la gravedad de la dislexia que presenta el individuo, se debe realizar un estudio completo del individuo constituido por encuestas, entrevistas, observación de los errores cometidos y resultados de pruebas psicopedagógicas especializadas en el área de la detección de la dislexia. En el proceso de detección de la dislexia, muchas personas están involucradas, y por ello deben tener conocimiento básico en el tema. Este proceso se presenta en la Figura 1.

El docente del aula regular es el que detecta los errores en la lectoescritura que presenta el niño, éste debe informar a los padres que el niño presenta estos errores, ya que cabe la posibilidad que el niño sea disléxico y por ende necesita apoyo individual. Los padres deben buscar orientación especial en el área, por medio de un especialista en dificultades en el aprendizaje. El especialista debe apoyarse en el equipo interdisciplinario conformado por un psicólogo y un fonoaudiólogo, para descartar deficiencias en el sistema auditivo y problemas sociales y psicológicos que puede presentar el niño. Luego que se realizan las evaluaciones pertinentes, se realizan los diagnósticos y se llega a un tratamiento especializado para el niño en particular.

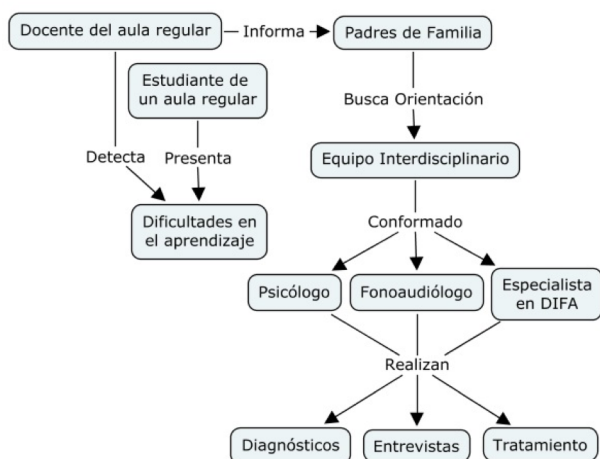


Figura 1. Proceso de detección de la dislexia. Fuente: Diseño personal de la Prof. Natividad Quintero.

Los errores que se suelen observar en la lectoescritura del niño disléxico permiten la identificación y diferenciación de éste con el escolar normal. La descripción de alguno de estos errores se presenta a continuación:

- Confusión de letras, sílabas o palabras con diferencias sutiles de grafía: a-o, c-ch, c-o, e-c, f-t, i-j, l-ll, m-n, n-ñ, v-u, v-y, etc.
- Confusión de letras, sílabas o palabras con grafía similar, pero con distinta orientación en el espacio: b-d, b-p, d-b, d-p, d-q, n-u, w-m, a-e.
- Confusión de letras que poseen un punto de articulación común y cuyos sonidos son acústicamente próximos: d-t, ch-ll, g-j, m-b-p, v-f.
- Inversiones parciales o totales de sílabas o palabras: la-al, le-el, las-sal, los-sol, loma-malo, etc.
- Sustituciones e inversiones de palabras por otras de estructura más o menos similar, pero con diferente significado: araucano-iracundo.
- Contaminaciones de sonidos.

- Adiciones u omisiones de sonidos, sílabas o palabras: famoso por fama, casa por casaca.
- Repeticiones de sílabas, palabras o frases.

B. Tratamiento o Reeducación de la Dislexia en Panamá

Una vez se hayan realizado los diagnósticos pertinentes mencionados en el punto A, el especialista debe proceder a:

- *Pronosticar*: Uno de los objetivos primordiales del diagnóstico es establecer los lineamientos generales sobre el curso futuro y grado de gravedad del problema del niño, la rapidez o lentitud de su recuperación y las metas que se tratarán de alcanzar.
- *Planeación del tratamiento o reeducación*: El objetivo primordial es la planeación del tratamiento, abarcando los aspectos pedagógicos, psicológicos y médicos, tomando como base los resultados de la observación clínica. El niño disléxico es diferente de los niños normales, por lo que requiere una planeación especial basada en el conocimiento integral de su problema.

Los métodos utilizados para el planeamiento de la reeducación a realizar en el niño disléxico, se apoyan en las bases pedagógicas: la enseñanza se planea de lo fácil a lo difícil, de lo conocido a lo desconocido, de las metas próximas a las lejanas, y así se va pasando paulatinamente de una etapa a otra superior reforzando las etapas básicas continuamente.

El especialista en dificultades en el aprendizaje (DIFA) debe conocer las deficiencias y habilidades del niño y el grado de evolución alcanzado en las diferentes áreas gnósico-práxicas que le dan conciencia de su cuerpo y del espacio, el movimiento y su dirección, la interpretación de los estímulos captados por los órganos sensoriales y las funciones mentales tales como atención, memoria, abstracción, elaboración, análisis y síntesis, juicio, razonamiento, y su nivel lingüístico e intelectual global. Además, de las condiciones especiales de su conducta, de su adaptación social y su estado emocional le indicarán al especialista la manera más conveniente de tratar y manejar al niño disléxico. La tarea del especialista en DIFA consiste en elaborar una serie de planes derivados de un plan inicial. El primero abarca los puntos sobresalientes del diagnóstico pedagógico y clínico del niño. Los siguientes los va construyendo a medida que madura y aprende, porque al madurar, las características del niño van cambiando y hay necesidad de ajustar los planes de trabajo según continuas revalorizaciones y diagnósticos psicopedagógicos. La meta que se persigue a través del tratamiento o reeducación pedagógica es lograr que el niño disléxico aprenda a leer y escribir, y al conseguirlo le vamos a ayudar a su adaptación social en la escuela.

III. SOFTWARE INTERACTIVO EDUCATIVO

En computación, un *software* es un programa o aplicación informática que se utiliza para realizar tareas específicas en el área de aplicación del mismo. Según [7], un *software* educativo es aquel que está diseñado con fines didácticos y que tiene como objetivo imitar la labor personalizada de un tutor o maestro. En cambio, [8] lo entiende como programas que apoyan funciones educativas, ya sea en la administración de procesos educativos o de investigación, así como los que se desempeñan en el proceso enseñanza – aprendizaje. Por otro lado, [9] los define como un programa computarizado que tiene como objetivo facilitar el proceso de enseñanza – aprendizaje con características como facilidad de uso,

interactividad y personalización de la velocidad del aprendizaje.

Las características de este tipo de *software* según [10], [11] y [12] son: finalidad, tipo de *hardware*, facilidad de uso, interactividad, capacidad de motivación, relevancia curricular, versatilidad, enfoque pedagógico, orientación y evaluación.

A. *Software Interactivo Educativo Orientado a Personas con Dislexia*

Como se menciona en el apartado anterior, la dislexia forma parte de las NEE dentro del área del lenguaje, específicamente enmarcada en los problemas de la lectoescritura. Estas dificultades se presentan ahora con mayor frecuencia que en otras épocas, pero quizás lo que sucede es que en la actualidad se cuenta con mayores técnicas para su detección [13].

Por muchos años, la reeducación de las dificultades que presentan los niños con dislexia se ha realizado por medio de técnicas tradicionales. Dichas técnicas son esenciales, debido a que deben variar un poco el trabajo escolar y trabajar aquellas áreas que el niño pueda necesitar. Están basadas en el uso de materiales en formato papel y lápiz que resultan útiles y beneficiosos, pero en ocasiones (dependiendo de los estilos de aprendizaje) resulta monótona y con poca motivación para los niños [14].

Debido a la necesidad de brindar un apoyo en el área de la reeducación de la dislexia, se ha fomentado el uso y aplicación de herramientas tecnológicas y/o multimedia, aprovechando las ventajas de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones para su aprovechamiento didáctico en los entornos de aprendizaje de la lectoescritura. Es aquí en donde el *software* educativo orientado a la dislexia entra en acción [15].

La reeducación de la dislexia por medio de *software* educativo posee grandes ventajas sobre la reeducación por medio de las técnicas tradicionales. Su contribución al aprendizaje es altamente positiva, ya que se logra un importante efecto de optimización cognitiva y meta cognitiva. Ayudan al niño con dislexia en actividades directamente relacionadas con la lectura. Por ello, este tipo de *software* debe contener actividades centradas en el desarrollo de habilidades de decodificación fonológica, reconocimiento de palabras, conocimiento del significado de las palabras, entre otras estrategias. Es muy importante la interacción que el niño realiza con el *software* [16]. Además, estos *software* deben incluir una realimentación correctiva al estudiante para que éste pueda corregir errores cometidos.

Las ventajas que posee el uso de *software* educativo según [17] son:

- Interacción hombre máquina: El usuario interactúa directamente con un computador o máquina y no con una persona. Estableciéndose así una forma diferente de comunicación, en donde el usuario asume una actitud más dinámica y activa.
- Individualización: El usuario recibe un refuerzo o realimentación personalizada. Por medio de esto se logra la instrucción individual, ya que se puede programar el sistema dependiendo del estilo de aprendizaje y las diferentes dificultades que presenta el usuario.
- Potenciación pedagógica: Los *software* educativo están desarrollados bajo teorías cognitivas y de aprendizaje. Esto proporciona un número considerable de principios

pedagógicos que algunas veces son difíciles de implementar por las personas.

Un *software* educativo para la reeducación de la dislexia debe estar debidamente fundamentado por la integración de áreas del conocimiento como la pedagogía, la psicología, la tecnología, entre otros; tomando en cuenta las áreas que se desean estimular o reeducar en el niño disléxico [16]. En su desarrollo se debe tomar en cuenta diversos factores como las áreas que se deben reeducar en un niño disléxico, las teorías cognitivas del aprendizaje, el equipo multidisciplinario involucrado en la reeducación, las técnicas tradicionales de reeducación, el diseño de sistemas interactivos, los modelos y métodos de desarrollo de *software* centrado en el usuario.

IV. DISEÑO DE SISTEMAS INTERACTIVOS EDUCATIVOS

La característica principal de los sistemas interactivos es la importancia que se le da al diálogo con el usuario. Por ello, la Interfaz de Usuario (IU) es una parte esencial en el proceso de desarrollo de cualquier aplicación o sistema y por lo tanto se debe tener en cuenta su diseño desde el principio. La IU es la parte del sistema que facilita al usuario el acceso a los recursos del computador [18]. Ésta determina en gran medida la percepción e impresión que el usuario poseerá de la aplicación, ya que éste no está interesado en la estructura interna de la aplicación, sino en cómo utilizarla.

Si se realiza la especificación del sistema, se diseñan las funciones y estructuras de datos y se escribe el código de desarrollo de la aplicación sin plantearse el diseño de la IU; entonces, se pueden obtener diseños de interfaces muy dependientes del diseño de los datos y las funciones que se han realizado, sin tener en cuenta que estos datos han de ser obtenidos y representados por y para el usuario. Una vez hechas las especificaciones, propuesto un diseño e implementado el código, es muy difícil cambiar las características de la interacción y presentación de la información. Por ello, se debe empezar con una idea clara de cómo queremos la interfaz y cómo serán las interacciones con el usuario para después desarrollar las especificaciones funcionales que sirvan de guía al diseño posterior.

En el desarrollo de sistemas interactivos, se podrán utilizar los modelos de Ingeniería de *Software* (IS) tradicionales, pero se debe tener en cuenta que debemos modificar algunos aspectos de estos modelos para adaptarlos a las peculiaridades de estos sistemas. Un aspecto fundamental que se debe tener en cuenta es el análisis y diseño de la parte interactiva del sistema, tomando en cuenta los participantes que van a intervenir en el mismo:

- Usuario: es el que posee la capacidad de elección y actuación con el sistema.
- Computador: ofrece un programa y mecanismos para su acceso.
- Diseñador: encargado de anticipar las posibles acciones del usuario y codificarlas en el programa.

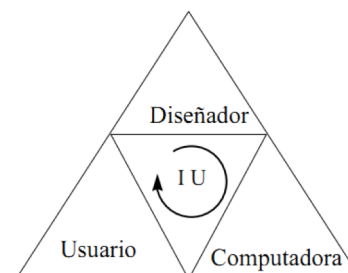


Figura 2. Participantes de un Sistema Interactivo.

Todo esto se enlaza a través de la IU del sistema interactivo. En la Figura 2 [18], se muestra el diagrama de interacción entre los participantes que intervienen con el sistema.

Como medio de comunicación entre las personas y las computadoras, las IU se caracterizan por su apariencia (diseño) y su capacidad de gestión de diálogo. Actualmente, las IU fáciles de usar provocan que su diseño sea cada vez más complejo. En el mercado podemos encontrar multiplicidad de productos que permiten la descripción y generación automática de la apariencia externa de una aplicación mediante la utilización de paletas de recursos (botones, menús, entre otros.), herramientas visuales, entre otros. Sin embargo, estas herramientas no suministran el análisis suficiente sobre el comportamiento dinámico de la interfaz y sobre todo no aseguran su corrección.

V. PROCESO DE DISEÑO DE LA INTERFAZ DE UN SISTEMA INTERACTIVO EDUCATIVO ORIENTADO A LA REEDUCACIÓN DE LAS DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE QUE PRESENTAN LOS NIÑOS CON DISLEXIA EN PANAMÁ

El proceso de diseño para este tipo de sistemas se realizó de la siguiente forma:

A. Investigar las técnicas y métodos tradicionales que se utilizan para la reeducación de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños con dislexia en Panamá

Esta fase se realizó debido a que se debía conocer la forma en que los especialistas en DIFA atienden los niños disléxicos en Panamá. En este trabajo de investigación, se realizaron diversas actividades, de las cuales se obtuvieron diversos hallazgos. A continuación se presentan las actividades y tareas realizadas y luego se presentan los hallazgos de las mismas:

Reunión del equipo de trabajo. El equipo de trabajo lo conformaron dos (2) especialistas en informática, una especialista en dificultades en el aprendizaje y una psicóloga. En estas reuniones se realizó un análisis de los usuarios finales del Sistema, esto se realizó por medio de las siguientes tareas:

- Explicación general sobre las Dificultades en el Aprendizaje por parte de la Especialista en dificultades en el aprendizaje.
- Entrevista a especialistas en Dificultades en el Aprendizaje (DIFA) que laboran día a día atendiendo niños disléxicos. Esto se realizó para determinar el proceso de la reeducación.
- Visita a un Centro Interdisciplinario donde atienden de forma directa a niños disléxicos. Por medio de ello, se realizó la observación del trabajo de reeducación de los especialistas con los niños y el ambiente de trabajo que los rodea
- Análisis de los tipos de pruebas psicopedagógicas que se utilizan para la detección de la dislexia. Por medio de ello se logra conocer más acerca de la sintomatología que presenta el niño disléxico
- Lectura de literatura importante en el campo de la Dislexia y las Dificultades en el Aprendizaje

Los hallazgos obtenidos de esta actividad fueron los siguientes:

- Tal como se aprecia en la Figura 1, (colocada en la sección II. Dislexia), el proceso de detección y tratamiento de la dislexia en Panamá inicia con el docente y el diagnóstico y la reeducación la realiza el equipo Interdisciplinario de los Centros de Atención con colaboración de los padres de familia y el docente. El docente del aula es el que está directamente relacionado con el aprendizaje del niño y cuenta con los conocimientos necesarios para detectar que éste presenta más dificultades que sus pares. Es de suma importancia detectar los problemas de dislexia, debido a que es un factor clave para contribuir a su solución y no aumentar la problemática que en los niños(as) subyace. Así, en esta labor de detección es crucial que el docente descarte: Dificultades de visión, Dificultades de audición, Un coeficiente intelectual por debajo de lo normal, Existencia de una perturbación emocional primaria, Falta de instrucción, Problemas de salud graves que mediaten el aprendizaje, Lesiones cerebrales diagnosticables y que puedan afectar el área del lenguaje y un Diagnóstico de algún retardo grave de desarrollo. Con estos datos de observación, el docente, debe remitir el niño a servicios especializados, con el fin de que profundicen en el diagnóstico e identifiquen los problemas concretos que tiene el estudiante.
 - Una vez se haya detectado el niño con dificultades, los especialistas proceden a colocarle al niño pruebas psicopedagógicas. Por ello realizamos una revisión y análisis de los resultados de las pruebas psicopedagógicas aplicadas a los niños en el Centro Interdisciplinario, debido a que las mismas poseen subtest donde el niño debe realizar actividades de las áreas de coordinación visomotora, memoria visual, capacidad de atención y concentración, memoria y discriminación auditiva, comprensión, resistencia a la fatiga, análisis y reconocimiento de las palabras. Algunas de estas áreas se tomaron en cuenta para su desarrollo en el diseño del sistema. Estas pruebas son estandarizadas y son utilizadas a nivel de especialistas en esta área en todo el mundo.
 - Como se mencionó anteriormente en la sección II. Dislexia, para el proceso de reeducación, el especialista debe realizar un planeamiento de las actividades que realizará con el niño dependiendo de las habilidades y destrezas que necesita desarrollar. El trabajo de los especialistas con los niños disléxicos es de forma directa durante aproximadamente una (1) hora.
- En la actualidad, los Centros psicopedagógicos que atienden niños disléxicos realizan el proceso de reeducación de forma tradicional. Al mencionar la forma tradicional se hace referencia al uso de papel y lápiz para realizar las actividades. Por ejemplo, se utilizan materiales impresos como: libros, folletos, material didáctico, ilustraciones, figuras, entre otros, que contienen actividades que al niño realizarlas está desarrollando las habilidades y destrezas que necesita para mejorar sus dificultades. Entre estos materiales impresos podemos destacar dos de los más utilizados:
- Hurganito, de la autora Mabel Condemarín: Este libro es un material de trabajo fácil y ameno, que permite reforzar las dificultades para el aprendizaje de la lectoescritura que presentan los niños disléxicos. Es una herramienta elemental para el rehabilitador (especialista), maestro de grado y padres de familia. Sus actividades

están diseñadas para reeducar las principales habilidades y destrezas de la lectoescritura. Hurganito puede ser utilizado como material para el tratamiento o como complemento de cualquier método de lectura y escritura inicial.

- El Niño Disléxico, de la autora Margarita Nieto [6]: Este libro muestra los conceptos básicos, manejo oportuno para diagnóstico y tratamiento adecuados para la dislexia: También proporciona técnicas terapéuticas para el tratamiento de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños con este trastorno.

Para este tipo de sistema, las técnicas y los métodos de atención tradicionales son el punto fundamental, ya que es la base para su desarrollo. Los hallazgos que se consideraron importantes en este proceso fueron:

- Los niños se atienden de forma individualizada
- Cada niño se le aplican pruebas psicopedagógicas (mencionadas en el punto anterior) para determinar su nivel de madurez frente al aprendizaje de la lectoescritura.
- Una vez determinado el nivel de madurez y los errores que comete, el especialista debe desarrollar un plan de reeducativo para los errores específicos de cada individuo.
- Dependiendo del plan reeducativo, así mismo dependerán las actividades que el niño realizará en cada sesión con el especialista.
- El especialista en DIFA es un guía en cada sesión con el niño, por ello siempre debe estar guiándolo en cada actividad que éste realiza, alentándolo a seguir adelante y a corregir los errores que comete
- Después de cada sesión el especialista realiza un informe del avance del niño en la sesión, realizando un compendio de los errores cometidos y los avances que el mismo tuvo.

Esto lleva a determinar cómo debe ser la metodología que utilizará el especialista en DIFA al utilizar el sistema. Por ello, se determinó que éste presentara actividades divididas por áreas y cada área por nivel de dificultad, así el especialista escogerá qué actividad realizará cada niño específicamente dependiendo de su plan reeducativo. Al igual que en el método tradicional, el especialista debe estar con el niño dirigiendo las actividades y alentándolo a seguir adelante. Al concluir cada sesión el *software* debe desplegar un informe de los errores y aciertos cometidos por el niño en las actividades que realizó.

B. Análisis del contenido de los métodos y técnicas tradicionales para la reeducación de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños con dislexia en Panamá

Luego de realizar la investigación pertinente sobre los métodos de enseñanza y procedimientos tradicionales para la reeducación de las DIFA que se utilizan en los Centros Psicopedagógicos en Panamá, realizamos un análisis del contenido de dichos métodos. Todo esto se realizó por medio del análisis de las destrezas, habilidades y conocimientos a reeducar en el niño disléxico. Luego de ello, se determinaron los módulos a desarrollar dependiendo de las destrezas, habilidades y conocimientos que se reeducarán en el niño disléxico. Las áreas y destrezas que se escogieron para reeducar por medio del Sistema que se diseñó son:

- Discriminación Auditiva (Área)

- Rimas (Destreza)
- Silabificación (Destreza)
- Sonidos Iniciales (Destreza)
- Acentos (Destreza)
- Percepción Visual (Área)
 - Discriminación de formas (Destreza)
 - Coordinación visomotora (Destreza)
 - Percepción figura-fondo (Destreza)
 - Posición en el espacio (Destreza)
- Análisis de Palabras (Área)
 - Análisis fónico (Destreza)
 - Análisis Estructural (Destreza)
- Reconocimiento de Palabras (Área)
 - Observación: esta área no contiene destrezas

Cada destreza contará con seis (6) actividades, las cuales estarán divididas en tres (3) niveles y los niveles tendrán dos (2) actividades.

C. Utilización de una Guía de estilo para el Diseño de Interfaces de Sistemas Interactivos que apoyen la reeducación de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños con dislexia.

Una vez realizados los pasos de investigación anteriores, investigamos referente a la existencia de una Guía de estilo para el diseño de interfaces de sistemas de este tipo. En nuestra búsqueda descubrimos la carencia de la misma, por lo cual se desarrolló una guía de estilo de este tipo.

Se debe tener presente que la Guía de estilo desarrollada puede ser utilizada de ahora en adelante por cualquier interesado en desarrollar sistemas de este tipo. Por ello, el desarrollo de una Guía de estilo se realiza en el caso de la inexistencia de la misma.

Una guía de estilo es un documento que establece un estilo o formato estándar en donde se especifican directrices comunes para formato de textos e imágenes, uso de colores y fuentes, Variaciones de logotipo, entre otras. Una de las grandes ventajas de su uso es que aseguran una mejor usabilidad mediante la consistencia que imponen. Algunos ejemplos de guías de estilo son:

- Apple: Electronic Guide to Macintosh Human Interface Design
- IBM: Object-Oriented Interface Design: IBM Common User Access Guidelines
- Microsoft: User Experience Interaction Guidelines

Al basarse en la información recabada, se determinaron diversas fases para el desarrollo de la Guía de Estilo. Las fases para el desarrollo de la Guía de Estilo que se plantea en esta sección son el seguimiento de las fases planteadas por el Modelo de Proceso de la Ingeniería de la Usabilidad y Accesibilidad (MPIu+a). Cabe resaltar que para el desarrollo de la Guía de Estilo, las fases del modelo utilizadas son: Ingeniería de *Software* (Análisis de Requisitos y Diseño), Prototipado y Evaluación. Las fases son las siguientes:

- 1) *Análisis de Requisitos + Prototipado*. En esta fase se realizó una *revisión bibliográfica* sobre la reeducación de la dislexia, *software* educativo para niños con dislexia y guías de estilo para el desarrollo de sistemas interactivos para el planteamiento de los

lineamientos generales para el diseño de interfaces de sistemas interactivos que apoyen la reeducación de las dificultades en el aprendizaje (DIFA) que presenten los niños con dislexia. Además de esto, se realizó un *trabajo de campo* para definir los lineamientos generales para el diseño de interfaces de sistemas interactivos que apoyen la reeducación de las DIFA que presenten los niños con dislexia.

La fase de revisión bibliográfica se realizó mediante una revisión bibliográfica sistemática. Para realizar dicha revisión se determinó una serie de palabras clave y tipos de fuentes, las cuales son:

- Palabras clave: Primarias: Dislexia y Guías de estilo. Secundarias: Reeducción, Accesibilidad, Usabilidad, Desarrollo, *Software* educativo y Sistemas interactivos.
- Tipos de fuente: Primarias: Trabajos de investigación pura y Artículos científicos. Secundarias: Tesis, Monografías, Recopilación de información, Artículos sobre estados del arte y Libros especializados.

La fase de trabajo de campo se realizó mediante tres (3) técnicas de investigación. Para las cuales tuve que trasladarme al lugar de trabajo de los especialistas. Estas técnicas fueron:

- Entrevistas a los especialistas en Dificultades en el Aprendizaje.
- Reuniones con los especialistas y estudiantes de la Licenciatura en Dificultades en el Aprendizaje.
- Observaciones del trabajo de los especialistas en Dificultades en el Aprendizaje en el proceso de Reeducción de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños con dislexia.

- 2) *Diseño del Sistema + Prototipado*. El objetivo de esta fase fue Diseñar y elaborar el prototipo de un sistema interactivo basado en los lineamientos generales para el diseño de interfaces de sistemas interactivos que apoyen la reeducación de las DIFA que presenten los niños de 7 a 10 años con dislexia. En esta fase se determinaron los lineamientos generales para el diseño, los cuales fueron: Diseño de la interfaz, Colores, Tipografía, Estilo de redacción y tratamiento de la información, Navegación, Actividades o ejercicios, Imágenes, ilustraciones, animaciones, audio, gráficos, Corrección de errores producidos durante la ejecución de la actividad o ejercicio, Control de cambios y Equipo.

Partiendo de estos lineamientos, se desarrollaron diferentes tipos de prototipos, como lo son el prototipado en papel y el prototipado *software*. En la Figura 3 podemos apreciar el diseño del prototipo en papel basado en los lineamientos generales de la Guía de Estilo.

- 3) *Evaluación + Prototipado*. El objetivo de esta fase fue validar, experimentalmente, los lineamientos

generales para el diseño de interfaces de sistemas interactivos que apoyen la reeducación de las DIFA que presenten los niños de 7 a 10 años con dislexia a través del prototipo por medio de un método de validación de la usabilidad. Existe una amplia variedad de métodos de evaluación y validación de la usabilidad, cada uno de ellos utiliza determinados medios y técnicas e intentan definir y medir diversos aspectos.



Figura 3. Prototipo en papel basado en los lineamientos generales de la Guía de Estilo.

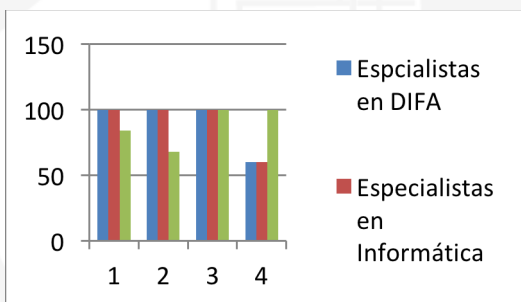
La elección de cual utilizar no depende sólo de cuál es la respuesta que se quiere conocer sino de múltiples factores que pueden resumirse en el costo y en lo que se obtendrá con su realización. Para esta validación, se seleccionó como lugar de realización el entorno natural del usuario bajo técnicas de Indagación por medio manual directamente con los usuarios. Las técnicas de Inspección utilizadas fueron:

- Recorrido cognitivo: El recorrido cognitivo (Cognitive Walkthrough) se centra en evaluar en un diseño su facilidad de aprendizaje, básicamente por exploración y está motivado por la observación que muchos usuarios prefieren aprender *software* a base de explorar sus posibilidades.
- Evaluación Heurística: Puede ser descrito como el proceso en el que se resuelven problemas a partir de una serie de reglas (heurísticas) previamente determinadas.
- Los perfiles de usuarios que evaluarían el prototipo:
 - Especialistas en Dificultades en el Aprendizaje (DIFA). La muestra fue en base a 10 especialistas.
 - Niños y niñas disléxicos de 7 a 10 años que presentan dificultades en el aprendizaje. La muestra fue en base a 20 niños y niñas disléxicos.
 - Especialistas en el área de la informática como HCI, Diseño y Desarrollo de *Software*. La muestra fue en base a 10 especialistas.

Se desarrollaron las evaluaciones de usabilidad según las técnicas seleccionadas y según cada perfil de usuario. Para los especialistas en dificultades en el aprendizaje y los especialistas en informática se aplicaron los dos Métodos de Inspección arriba descritos y para los niños disléxicos sólo la técnica de Recorrido Cognitivo.

D. Evaluación del Diseño de las Interfaces de un Sistema Interactivo Educativo que apoye la reeducación de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños con dislexia.

Como se menciona en el punto anterior, se desarrollaron las evaluaciones de usabilidad según las técnicas seleccionadas y según cada perfil de usuario. Para los especialistas en dificultades en el aprendizaje y los especialistas en informática se aplicaron los dos Métodos de Inspección arriba descritos y para los niños disléxicos sólo la técnica de Recorrido Cognitivo. Los especialistas realizaron el recorrido cognitivo e iban aportando sus recomendaciones a medida que realizaban las tareas descritas, luego realizaron la evaluación heurística colocando las observaciones pertinentes. Los niños realizaron el recorrido cognitivo con la ayuda del especialista en dificultades en el aprendizaje (esto es debido a que el prototipo está diseñado para que el especialista sea el guía del niño y trabajen en conjunto) y el evaluador realizaba los apuntes pertinentes de sus observaciones.



Gráfica 1. Aceptación de la interfaz del sistema por usuario

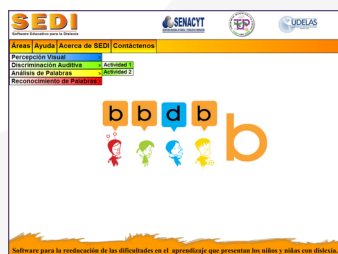


Figura 4. Primer diseño de la pantalla principal del sistema.

Como lo presenta la Gráfica 1, se puede observar un alto porcentaje de aceptación de las características generales de la interfaz del sistema por parte de los usuarios. Una vez realizadas las evaluaciones necesarias de los lineamientos generales, por medio de los prototipos, se procede a finalizar

la guía de estilo. Se utilizó como base esta guía de estilo y se procede al diseño de las interfaces de un sistema interactivo que apoye la reeducación de las DIFA que presentan los niños con dislexia.

En las siguientes figuras, puede apreciar los diversos diseños que se realizaron de las interfaces y su evolución según las evaluaciones realizadas con los usuarios, ya que se realizaron las mismas validaciones mencionadas en el punto anterior.



Figura 5. Diseño final de la pantalla principal del sistema.



Figura 6. Primer diseño de la pantalla de una de las actividades del sistema.

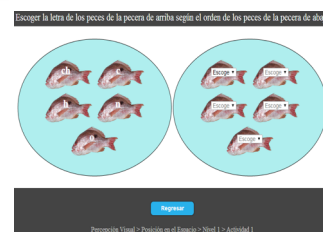


Figura 7. Diseño final de la pantalla de la actividad de la Figura 6.

VI. CONCLUSIONES

Para lograr un resultado completo a la hora de diseñar interfaces de sistemas y que dicha interfaz responda completamente las necesidades de los usuarios, se debe realizar una exhaustiva investigación bibliográfica sobre los temas a tratar, más que todo cuando no se es especialista en temas correspondientes a las necesidades educativas especiales.

Actualmente, los desarrolladores no cuentan con herramientas apropiadas para el diseño y desarrollo de *software* orientado a la reeducación de la dislexia. Esto se debe a que este tipo de sistemas acarrea consigo una alta complejidad y son muchos los elementos que están involucrados en este campo de investigación.

Las técnicas de reeducación de la dislexia es un campo de investigación en donde los niños son los usuarios primordiales del sistema y en donde los sistemas deben ser especializados y

altamente definidos para cada tipo de dificultad en el aprendizaje. Por ello, los desarrolladores de sistemas deben contar con una guía de estilo especializada para lograr los objetivos que el especialista en dificultades en el aprendizaje busca en un sistema. En un tema más amplio, una guía de estilo adecuada mejora las soluciones orientadas al proceso de reeducación de determinadas necesidades educativas especiales.

Por medio de esta investigación, podemos afirmar que el prototipado es una herramienta potente para la validación y el refinamiento de elementos de diseño como lo es una guía de estilo. El uso de las técnicas de validación es un paso crucial al momento de evaluar los prototipos y validar la usabilidad del sistema. Por medio de ellas, podemos realizar un análisis completo del diseño y obtener un informe completo sobre la accesibilidad y accesibilidad, logrando así un sistema interactivo altamente usable y accesible.

Los resultados de las evaluaciones mostraron que los lineamientos generales generados para el diseño del prototipo son eficaces, ya que fueron aceptados en un alto porcentaje. Al considerar las aportaciones de los tres perfiles de usuarios, logramos refinar los lineamientos generales dando como resultado el diseño de la interfaz de usuario de un sistema interactivo educativo orientado a la reeducación de las dificultades en el aprendizaje que presentan los niños con dislexia en Panamá.

AGRADECIMIENTO

La autora expresa sus agradecimientos a la Secretaría Nacional de Ciencias y Tecnología (SENACYT), a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), a la Universidad Especializada de las Américas (UDELAS) y al Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (CIDITIC) por el apoyo brindado para hacer posible el desarrollo de la Investigación plasmada en este artículo.

Se extienden los agradecimientos a los Profesores Iván Pau, Toni Granollers, Natividad Quintero y Cesar Collazos por el apoyo y tiempo dedicado para que mi estudio referente al desarrollo de una Guía de Estilo Orientada al Diseño de Interfaces de Sistemas Interactivos como Apoyo a la Reeducación de las Dificultades en el Aprendizaje que Presentan los Niños con Dislexia fuera una realidad.

REFERENCIAS

- [2] Høien, T. and I. Lundberg, *Dyslexia: From Theory To Intervention*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [3] Morgan, W., A Case of Congenital Word-Blindness. *The British Medical Journal*, 1896. 2.
- [4] Serrano, F., Disléxios en Español. Papel de la Fonoaudiología y la Ortografía, in Departamento de Psicología Evolutiva y de la Educación2005, Universidad de Granada: Granada, España. p. 287.
- [5] First, M., *Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales*2002, Estados Unidos: Masson. 1088.
- [6] Aguilera, A., *Introducción a las Dificultades del Aprendizaje*2004, España: McGraw-Hill Interamericana de España.
- [7] Nieto, M., *El Niño Disléxico*. Vol. 3. 1998, México: El Manual Moderno. 306.
- [8] Marqués, P., *El Software Educativo*. Comunicación Educativa y Nuevas Tecnologías, 1996: p. 119-144.
- [9] Galvis, A., *Evaluación de materiales educativos computerizados por juicio de expertos*. A. Galvis, Ingeniería de software educativo. Colombia. Universidad de los Andes, 2000.
- [10] Cataldi, Z., *Metodología de Diseño, Desarrollo y Evaluación de Software Educativo*, in Facultad de Informática2000, Universidad Nacional de La Plata: Argentina.
- [11] Marqués, P., *Programas didácticos: diseño y evaluación*. Universidad Autónoma de Barcelona, 1998.
- [12] Galvis, E. and O. Reyes, *Software Educativo para el Aprendizaje del Diseño de Interfaz de Materiales Educativos Computerizados*. Virtual Educa, 2005.
- [13] Vidal, M., F. Gómez, and A. Ruiz, *Software Educativos*. Educación Médica Superior, 2010. 24(1): p. 97-110.
- [14] Díaz, M. and C. Collazos *Desarrollo de un Marco Metodológico Orientado al Diseño de Interfaces para el Tratamiento de Niños con Dislexia Aplicando el Método de Proceso de Ingeniería de Usabilidad y Accesibilidad (MPIu+a)*. Revista Universitaria en Telecomunicaciones, Informática y Control - RUTIC, 2012. Vol. 01.
- [15] Rodríguez, K., M. Díaz, and N. Quintero, *Herramienta Tecnológica para el tratamiento de las Dificultades en el Aprendizaje que Presentan los Niños y Niñas con Dislexia en Panamá*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Innovation and Technology, 2011: p. 38-42.
- [16] Jiménez, J., M. Múnera, and P. Giraldo *Reeducación de Niños con Dislexia Utilizando Software Educativo*. Revista Iberoamericana de Informática Educativa - RIBIE, 2004. Vol. 1.
- [17] Moreno, L., et al., *SICOLE: Diagnóstico y Tratamiento Computarizado de la Dislexia en Español*. Pixel-Bit: Revista de medios y educación, 2004(24): p. 101-111.
- [18] Rojas, E., *Diseño y Validación de un Videojuego para el Tratamiento de la Dislexia*, in Departamento de Psicología Evolutiva y de la Educación2008, Universidad de La Laguna.
- [19] Lorés, J., *La Interacción Persona-Ordenador*2001: Asociación Interacción Persona-Ordenador.

Hacia la m-rehabilitación de pacientes a través de dispositivos inteligentes

Vladimir Villarreal

Grupo de Investigación en Tecnologías Computacionales Emergentes - GITCE,
Universidad Tecnológica de Panamá, República de Panamá
vladimir.villarreal@utp.ac.pa

Resumen-No cabe la menor duda de que desarrollar soluciones que faciliten el desarrollo de actividades de terapia desde casa, son un factor apremiante en nuestro entorno social. En un mundo donde la tecnología móvil adquiere cada vez más importancia, nuestro país no puede quedar lejos de estos avances, avances que incluyan el uso del dispositivo móvil como una herramienta de apoyo en la rehabilitación de personas. En este trabajo se presenta una propuesta que permite el desarrollo de una aplicación que ayuda a desarrollar actividades fisioterapéuticas de un paciente, desde la comodidad de su hogar, previo análisis y recomendación de su médico. La aplicación genera informes de los resultados de esas actividades físicas tanto para el paciente como para su médico. Se integra aquí una clasificación ontológica de dispositivos móviles y un estudio previo del impacto del desarrollo de esta tecnología en nuestro país.

Palabras Claves: computación móvil; computación ubicua; ingeniería de software; terapia móvil; ontologías.

I. INTRODUCCIÓN

A medida que transcurre el tiempo, los dispositivos móviles evolucionan y son capaces de ejecutar procesos más exigentes, lo que ha desatado un sin fin de aplicaciones para las diferentes presentaciones de dichos dispositivos, saltando a solucionar problemas en diferentes campos, como el académico, empresarial y hasta personal.

Dado esto, surgen preguntas como lo son: *¿Qué ventajas nos trae todo este tipo de avance tecnológico en Panamá y la disponibilidad creciente de conexión a internet?, ¿Son aprovechadas todas estas herramientas en Panamá, como lo es por ejemplo en el sector salud?*

Es posible que el avance casi exponencial de la tecnología celular, no permita ver fácilmente las ventajas que esta tecnología móvil pueda ofrecer en un momento dado.

Es por este motivo que surge la necesidad de determinar el avance tecnológico móvil en Panamá, y así tener una idea más clara de cómo sacar el máximo provecho de todas estas tecnologías actuales, en el mejoramiento de componentes móviles, que ayuden en la cobertura o asistencia de servicios médicos soportados a un área no muy común como lo es la fisioterapia.

1. Estudio de porcentaje de personas con celular y necesidad de rehabilitación en Panamá

Dado esto, notaremos la cuantificación de la población panameña que poseen un celular, o en otro caso tienen un dispositivo inteligente, que le facilitar la vida, de acuerdo a su necesidad [1].

Tabla 1. Proporción de hogares con telefonía celular, según provincias y comarcas indígenas: Censo de 2010.

Provincias y comarcas indígenas	Proporción de hogares con telefonía celular (%)
Total.....	<u>83.9</u>
Provincias	
Bocas del Toro.....	72.7
Coclé.....	77.1
Colón.....	85.6
Chiriquí.....	85.6
Darién.....	71.7
Herrera.....	81.8
Los Santos.....	80.5
Panamá.....	90.8
Veraguas.....	70.9
Comarcas indígenas	
Kuna Yala.....	46.5
Emberá.....	37.3
Ngöbe Buglé.....	26.9

Como se puede notar la gran parte de nuestra población cuenta con un dispositivo móvil dentro de la gama baja y media, lo que se traduce en una posibilidad de desarrollar soluciones móviles que faciliten el seguimiento y control de las actividades de rehabilitación de un paciente.

Este cuadro nos permite ver como se encuentra la tendencia tecnológica móvil, a nivel local. Los cambios tecnológicos han fomentado el acceso y uso de la telefonía celular, permitiendo ampliar la oferta y disminuir los precios.

Por otra parte, la posibilidad de pre-pagar el servicio, no solo de voz sino de data, ha permitido a los usuarios tener acceso a tarifas más bajas y aprovechar la funcionalidad de los nuevos equipos, sin mayores diferencias con los que formalizan un contrato. Estas facilidades a los usuarios son el

resultado de la competencia que se presenta en el mercado entre los cuatro operadores [2].

Luego de ver este cuadro podemos notar, que la realización de una aplicación móvil de este tipo relacionado a la salud, podría ser una buena manera a las respuestas de las personas, que necesitan o requieren atención médica, ya que se observa que a nivel nacional existe un buen porcentaje de las personas que poseen celulares.

Es notable que un dispositivo inteligente no reemplazara las funciones que hace un especialista médico, pero nuestro principal objetivo no es que lo reemplace, sino que el dispositivo ayude al paciente o usuario, a que pueda hacer los ejercicios de la manera correcta, y que dichos ejercicios sean registrados de manera que el paciente pueda guardar los resultados, para luego poder tener una constancia de la repeticiones que realiza y de cuales ejercicios.

Todo esto se dará, como asistencia al paciente, dado que el servicio de Fisioterapia en Panamá está compuesto de un gimnasio que permite al paciente el desarrollo de técnicas de tratamiento para la estimulación del movimiento de ambulación.

A continuación se muestra un detalle de los servicios técnicos que se realizó en el 2012, con el fin de poder determinar cuánto población es la beneficiada de estos procesos médicos, y de cuantos profesionales son de origen nacional, que están capacitados para hacer esto.

Tabla 2. Detalle de servicios médicos en nuestro país, prestando principal atención a los aspectos de rehabilitación: Censo de 2012.

**Detalle de Servicios Técnicos y Médicos
Al 30 de septiembre de 2012**

Disciplina	Población Beneficiada	Profesionales
Total	92,729	270
Técnico	87,930	257
Fisioterapia	6,902	38
Psicología	10,877	40
Fonoaudiología	10,492	35
Laboratorio de Moldes	249	1
Prueba Audiológica	449	1
Trabajo Social	10,474	36
Terapia Ocupacional	4,983	24
Estimulación Temprana	43,039	80
Consejería en Rehabilitación	485	2
Médico	4,799	13
Foniatría	230	1
Medicina en Rehabilitación	643	1
Neurologo	225	1
Oftalmólogo	353	1
Ortopeda	355	1
Otorinolaringología	90	1
Pediatría	96	1
Psicopedagogo	124	1
Salud Bucal	1,677	3
Optometrista	374	1
Enfermería	632	1

Fuente: Informe Estadístico de Servicios Especiales de Habilitación

2. Objetivos funcionales de la propuesta

Los objetivos funcionales de la propuesta se enmarcan en los siguientes puntos:

- Poder lograr desarrollar una aplicación para teléfonos inteligentes, que permitan ayudar a las personas que necesitan rehabilitación física.
- Contactar a profesionales en el área de la fisioterapia que nos brinden la información necesaria sobre los distintos tipos de rehabilitación.
- Analizar formalmente todos los procesos involucrados en distintas terapias de rehabilitación y poder llevar un control de todo el historial del paciente, para poder en un momento dado, al momento de asistir a una cita, brindarle todos esos datos al profesional supervisor, mediante el dispositivo móvil.

Para cumplir estos objetivos funcionales es necesario:

- Determinar cuáles son los tipos de rehabilitación que se implementan actualmente.
- Analizar y modelar formalmente todas las actividades que se deben realizar de acuerdo al tipo de rehabilitación que se necesiten y de acuerdo a la necesidad del paciente.
- Diseñar una Base de Datos que pueda registrar todos los resultados al realizar los distintos procesos en cada actividad involucrada en la rehabilitación de manera remota.
- Diseñar un sistema móvil que implemente los procesos necesarios de rehabilitación los cuales utilizara el paciente, y le recuerde el control de dichas actividades.
- Desarrollar un sistema móvil que implemente los procesos necesarios de rehabilitación los cuales utilizará el paciente, y le recuerde el control de dichas actividades.
- Implementar un sistema móvil que implemente los procesos necesarios de rehabilitación los cuales utilizará el paciente, y le recuerde el control de dichas actividades.
- Capacitar al profesional fisioterapeuta a la utilización del sistema móvil, para que a su vez, lo pueda utilizar en los pacientes que la necesiten.

II. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN SIGUIENDO EL MARCO DE DESARROLLO MÓVIL MoMo

Esta aplicación se desarrollará siguiendo el marco de trabajo para el desarrollo de aplicaciones móviles MoMo [3] [4]. El ciclo de desarrollo propuesto nos permite obtener diferentes prototipos funcionales que definen cada elemento o módulo que componen la aplicación final (Figura 1). Los pasos del marco de desarrollo son las siguientes:

3. *Selección del módulo a aplicar*: se diseña la estructura funcional de cada módulo que formará parte de la aplicación final. Cada módulo tiene una funcionalidad específica, basada en un diseño global asociado.
4. *Definición de patrones de diseño*: definición de las estructuras físicas de cada patrón asociado a cada módulo

- que se ejecutará. Especifica la representación visual de cada uno de los diseño de módulos.
5. *Definición de patrones funcionales*: define los roles y las relaciones de cada uno de los módulos de la aplicación.
 6. *Relación ontológica de cada módulo*: especifica las ontologías que participan o son utilizadas por cada módulo, así como la relación entre otros elementos de la arquitectura.
 7. *Determinación de las capas de donde viene el módulo*: define la capa funcional de cada módulo, relacionándolo con la capa del modelo, definida por el marco.
 8. *Determinación de la relación entre capas*: define la relación entre cada uno de los módulos desarrollados, lo que permite la interoperabilidad entre cada uno de ellos.
 9. *Integración de todos los elementos*: para la obtención del prototipo para evaluar. Se obtiene en este paso, un primer prototipo.
 10. *Evaluación del prototipo*: esto permite la evaluación de diseño funcional y visual de la aplicación generada, proporcionando retroalimentación para la mejora de la arquitectura.
 11. *Rediseño de los elementos para la generación de un nuevo prototipo*: aquí es donde la funcionalidad del prototipo obtenido, discute su rediseño según los pasos iniciales. Comienza todo el proceso, cada vez que se corrigen problemas de diseño y funcionalidad.

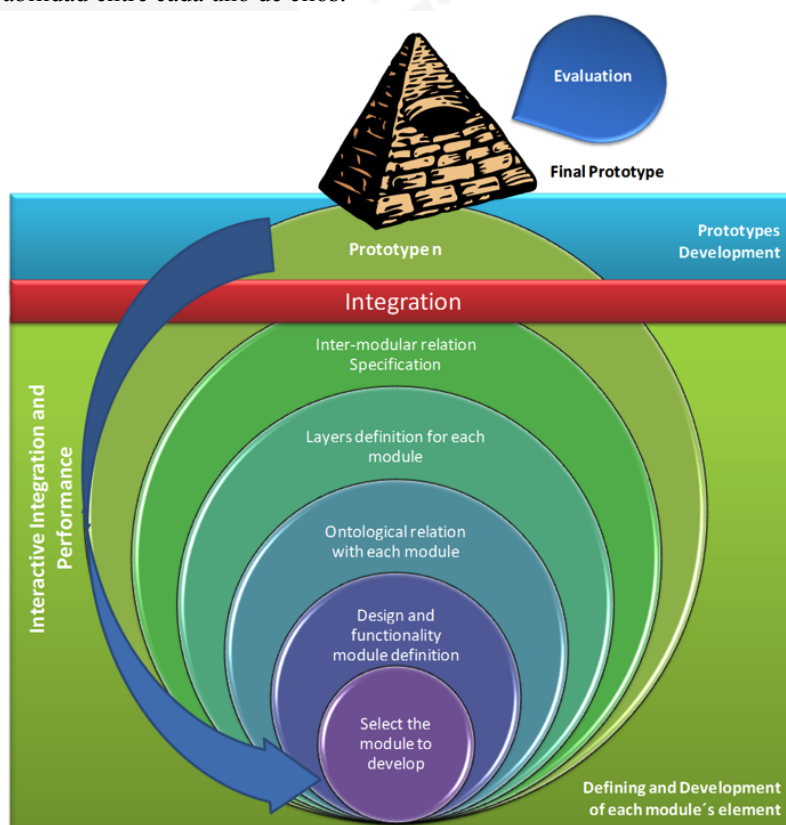


Figura 1. Desarrollo de la aplicación FiTeMo basado en el marco de desarrollo MoMo con cada uno de los pasos para el desarrollo de sus elementos.

1. Distribución y clasificación ontológica de los dispositivos móviles

Para facilitar el desarrollo de la aplicación propuesta, nos basaremos en el modelo ontológico MoMontology [5] [6] que presenta una clasificación de todos los posibles elementos que se deben tomar en cuenta al momento de desarrollar soluciones móviles adaptables a cualquier dispositivo móvil.

Para modelar los diferentes servicios y elementos que componen el marco, vamos a definir cada uno de los

elementos que intervienen en el desarrollo de lenguajes de la arquitectura de *software* basado en web semántica (OWL).

Basado en los pasos que componen el desarrollo de las ontologías definidas por METHONTOLOGY [7] [8] y para un mejor entendimiento de cada uno de los elementos de la aplicación, hemos basado el desarrollo en la clasificación de dispositivos móviles que presenta MoMontology. En la figura 2 se muestra la clasificación ontológica antes mencionada.

Esta ontología clasifica los dispositivos móviles según sus capacidades de *hardware*, *software*, comunicación o red. Estos tres elementos son los aspectos que definen la funcionalidad de la aplicación desarrollada.

El elemento más importante a la hora de desarrollar aplicaciones móviles son las especificaciones de *hardware*. Es necesario contemplar aspectos como:

- *Especificaciones de resolución (Resolution Specification)*, para que las aplicaciones desarrolladas sean adaptables a cualquier tipo de pantalla (aspecto tamaño).
- *Especificaciones de memoria (Memory Specification)*, para poder definir las distribución modular de la

aplicación, y así establecer los elementos que se ejecutan en primer plano y segundo plano.

- *Especificaciones de interfaz de usuario (UserInt Specification)* que define las especificaciones de pantalla y audio, que son recursos utilizables en el desarrollo de aplicaciones móviles.

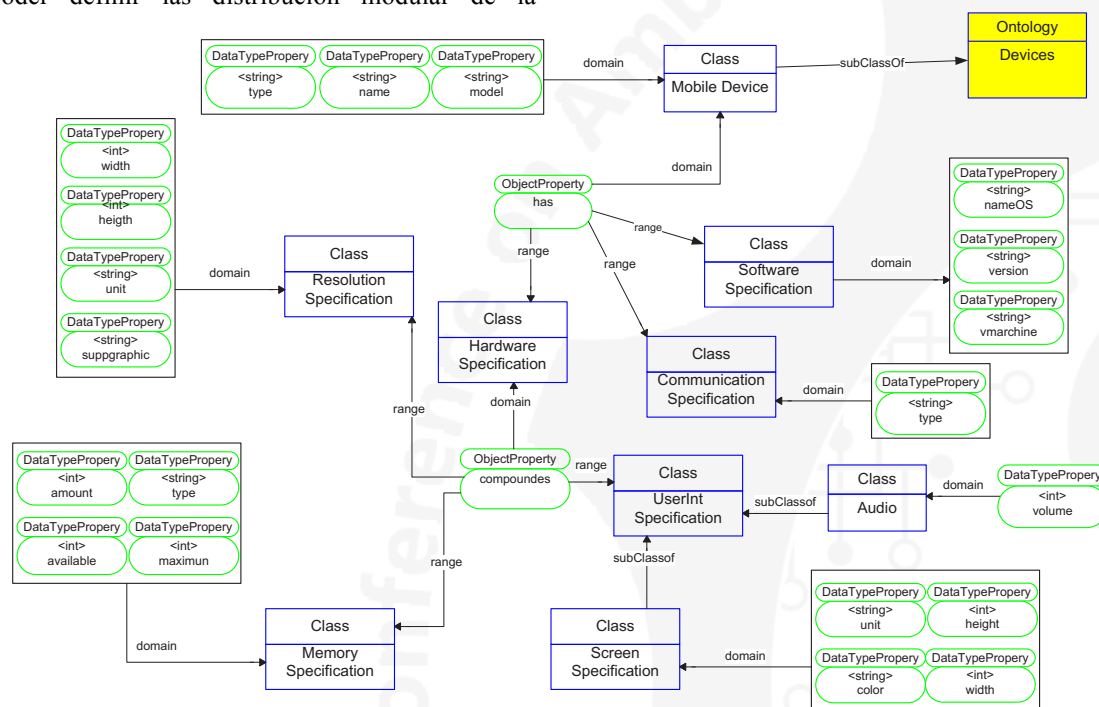


Figura 2. Clasificación ontológica de dispositivos móviles para facilitar el desarrollo y adaptabilidad de aplicaciones móviles.

III. PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN MÓVIL DE PACIENTES: FITEMO

Luego de evaluados todos los aspectos sociales y técnicos, se plantea desarrollar una aplicación móvil basado en la plataforma *Android*, con el fin de que funcione en los dispositivos con la versión 4.1 de *Android "Jelly Bean"*, que tenga un interfaz que permita conocer los datos generales del paciente, como lo son *nombre, cedula*, entre *otros* como se muestra en la figura 3(a).

Dado estos datos, el paciente procederá a otra interfaz, el cual le pedirá al paciente, que determine qué tipo de necesidad de rehabilitación es la que tiene, para que así la aplicación proceda a demostrarle al paciente como serán los ejercicios que deberá hacer (figura 3(b)). Al momento que el paciente

conoce el ejercicio que debe hacer la aplicación definirá cual es la magnitud o grado del ejercicio, para que así proceda a indicarle cuantas series tiene que hacer (figura 3(c)).

Dado esto el dispositivo quedara en un interfaz de recolección de datos, contado las repeticiones del ejercicio, ya que así le dirá al paciente, si ha logrado hacer la cantidad de repeticiones necesarias.

Cuando el paciente termina de hacer la serie o rutina de ejercicios (figura 3(d)), la aplicación le mostrara en una nueva interfaz sus resultados, y serán almacenados en tiempo real, desde la hora que empezó la sesión hasta el momento que terminó (figura 3(e)).



Figura 3. a. Captura de datos del paciente, b. Captura del tipo de ejercicio, c. Selección del grado o dificultad de la terapia, d. Captura de los datos resultantes del ejercicio: serie y rutina, e. Muestra de resultados.

Previamente el paciente debió indicar al momento de llenar sus datos, cuanto fue el periodo que el especialista le recomendó a hacer la terapia. Esto se hará, porque la aplicación también servirá como asistente y le recordará al paciente, periódicamente, el momento que debe empezar a realizar la sesión.

Esta aplicación le será recomendada al paciente por el profesional fisioterapeuta, que lo atienda en su primera sesión, ya que dependiendo el grado de rehabilitación, podrá el profesional indicarle la frecuencia con la que tendrá que asistir al centro para el ver el avance de la persona, mediante los resultados que extraiga del dispositivo.

Esto servirá como herramienta al profesional, y a su vez como asistente al paciente, ya que las sesiones tienen un valor económico considerable, y si en un determinado momento requeriría de 20 sesiones, lo ideal sería que con esta aplicación pueda reducirse esa cantidad de sesiones, a la mitad, y así

poder generarle un ahorro al paciente, que podría ser utilizado en otros tratamientos.

IV. CONCLUSIONES

Facilitarle a los pacientes herramientas necesarias para dar un soporte a una necesidad de rehabilitación, se traduce en la reducción de costos y tiempo, que pueden ser invertido en el desarrollo de nuevas actividades.

El desarrollo de la aplicación propuesta está basado en el Marco de trabajo para el desarrollo de Aplicaciones Móviles MoMo, que define como se implementan interfaces gráficas para desarrollar aplicaciones para seguimiento de pacientes, una clasificación ontológica de los posibles elementos utilizados y una distribución en capa de todos los elementos programables en una aplicación.

Estamos seguros que una vez en ejecución, nuestra aplicación, beneficiará a un gran número de personas que en muchas

ocasiones no pueden asistir a una sesión de rehabilitación, ofreciéndole una herramienta alterna ante esta problemática.

Existen las capacidades técnicas, de comunicación y operativa, nos toca integrarlas en una sola aplicación funcional y que irá creciendo con el tiempo.

AGRADECIMIENTO

Estos proyectos e investigaciones están siendo apoyados y soportados por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) y el autor es miembro del Sistema Nacional de Investigación (SNI) como Investigador Nacional I.

REFERENCIAS

- [1] David Alejandro Burgos y Hector Jaime Echeverry. Estado del Arte del Uso de Aplicaciones en Dispositivos Móviles en el Área de Medicina. Colombia 2012. <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/0053B957.pdf>
- [21] Contraloría General de la República de Panamá. Instituto Nacional de estadística y Censo. República de Panamá. Acceso y uso de las tecnologías de Información y Comunicación en Panamá. Última Consulta Abril de 2014. <http://estadisticas.contraloria.gob.pa/redpan/sid/docs/documentos%20tematicos/Atlas%20social%20de%20Panama/11%20-%20Acceso%20y%20uso%20de%20las%20tecnolog%C3%ADas%20de%20informaci%C3%B3n%20y%20comuni.pdf>
- [22] Villarreal, V., et al. A proposal for Mobile Diabetes Self-Control: Towards a Patient Monitoring Framework. In International Workshop of Ambient Assisted Living, IWAAL'09. 2009. Salamanca, Spain: LNCS Springer-Velarg.
- [23] Villarreal, V., et al. Diabetes Patients' Care based on Mobile Monitoring. In IADIS International Conference, APPLIED COMPUTING 2009. 2009. Rome, Italy.
- [24] Villarreal, V., et al. Applying ontologies in the development of patient mobile monitoring framework. in 2nd International Conference on e-Health and Bioengineering - EHB 2009. 2009. Constata, Romania: IEEE.
- [25] Bravo, J., et al. Enabling NFC Technology for Supporting Chronic Diseases: A Proposal for Alzheimer Caregives. In European Conference, AmI ,08. 2008. Nuremberg, Germany: Springer, LNCS.
- [26] Arpírez, J.C., et al. (ONTO)2Agent: an ontology-based WWW broker to select ontologies. in Workshop on applications of ontologies and problem-solving methods (ECAI98). 1998. Brighton, UK.
- [27] Fernandez-Lopez, M. Overview of Methodology for Building Ontologies. in Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods: Lessons Learned and Future Trends (IJCAI99). 1999.

Interoperabilidad en el proceso de autorización de servicios de salud basado en HL7-FHIR

Boris González

ColSWE
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
bagonzalezr@unal.edu.co

Helga Duarte

ColSWE
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
hduarte@unal.edu.co

Resumen-La autorización de servicios de salud es un trámite crítico previo a la atención médica que se da entre EPS (Entidad Promotora de Salud) e IPS (Instituciones Prestadoras de Servicios) en Colombia. Para soportar este proceso, cada una de estas instituciones tiene su respectivo sistema de información. La falta de interoperabilidad de estos sistemas para el proceso de autorizaciones médicas, resulta en retrasos importantes en la prestación de los servicios de salud que se le brindan a un Paciente. Lograr que estos sistemas compartan la información de manera adecuada contribuiría a la disminución de trámites para acceder a los servicios de salud y por lo tanto, a una atención médica oportuna y de calidad. En este trabajo se propone un marco de interoperabilidad entre EPS e IPS para el proceso de autorización de servicios en Colombia. El marco está basado en el nuevo estándar de interoperabilidad del HL7 y se propone la implementación de un prototipo usando Procesos de Negocio – BP y una Arquitectura Orientada a Servicios - SOA. Además, el marco también le permite al paciente conocer el estado de sus solicitudes de servicios de salud a través de un aplicativo web y de aplicaciones móviles específicas.

Palabras claves: *Sistemas de Información en Salud (Health Information System – HIS); Interoperabilidad; SOA; BPM; HL7; FHIR.*

I. INTRODUCCIÓN

En el sistema de salud colombiano, todos los ciudadanos deben estar afiliados a una aseguradora en salud, llamada EPS. Estas instituciones se encargan del aseguramiento del afiliado, pero no prestan los servicios de salud de manera directa. Para este fin contratan con una Red de prestadores llamadas IPS. Así, cuando un paciente requiere de un servicio de salud, debe dirigirse a una IPS quien se encargará de solicitar la autorización de algunos procedimientos médicos a la respectiva EPS del Paciente de acuerdo a la normatividad vigente.

La interoperabilidad entre los sistemas de estas entidades es vista como una necesidad para garantizar el acceso, oportunidad, calidad y trazabilidad en la atención médica de los pacientes puesto que, contribuye a la mejora de la gestión y el control de los costos de las aseguradoras y en la evaluación de los indicadores de calidad en la atención de salud por parte de los prestadores.

Sin embargo, las organizaciones de salud tienen dificultades para intercambiar esta información tanto en su interior como con otras instituciones. La diversidad de tecnologías y de sistemas de información con los que cuentan

estas instituciones, hacen que se requiere de un buen diseño y una correcta arquitectura de interoperabilidad entre sus respectivos SI.

El interés de este trabajo se centra en la necesidad de intercambio de información entre una entidad promotora de salud - EPS y su red de prestadores (IPS) para el proceso de autorización de servicios de salud. Este proceso requiere de la participación de estas entidades para que pueda llevarse a cabo, puesto que de la respuesta oportuna de cada participante, depende de la atención y muchas veces, la vida del paciente.

En este trabajo se propone el uso del nuevo enfoque del HL7, el estándar Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) [1], que combina las características de la Versión 2, Versión 3 y CDA® de HL7. Además, está basado en el estilo arquitectónico REST¹ que permite una fácil implementación a bajos costos[1]–[4].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Revisión de la literatura

Se realizó una revisión sistemática de literatura seleccionada de soluciones de interoperabilidad en las entidades de salud. Esta revisión se hizo en revistas indexadas nacionales e internacionales, con el fin de obtener conocimiento de diseños de arquitecturas para intercambiar información y algunas soluciones de interoperabilidad propuestas. Los resultados fueron organizados en las siguientes secciones: trabajos en Colombia, trabajos internacionales y análisis de los trabajos relacionados.

B. Entrevista a Entidades de Salud

Se realizó una visita a cada una de las entidades seleccionadas (a una aseguradora y 3 (tres) IPS de su red de prestadores) con el fin de aplicar una entrevista semi-estructurada a los administradores de cada sistema de información. De estas entrevistas se tuvo como resultado: (i) conocimiento del proceso de autorización de servicios, (ii) conocimiento de la normatividad que regula el proceso de autorización.

C. Diseño de la Arquitectura

Con el fin de visualizar y comprender la situación actual y futura del proceso seleccionado, se utiliza Business Process Model and Notation (BPMN) puesto que es el estándar

¹ REST, Representational State Transfer o Transferencia de Estado Representacional

utilizado para diseñar procesos de negocios. Con base en la información obtenida del proceso y la revisión bibliográfica, se propone una Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) que permita la interoperabilidad de los sistemas de las organizaciones, soportada en el HL7 FHIR para el intercambio de datos.

Para el diseño de la arquitectura se realizaron los siguientes pasos (i) identificación de servicios (ii) especificación de servicios (iii) Implementación de la solución con FHIR (iv) despliegue de la arquitectura de servicios que se soporta en una solución en la nube.

III. TRABAJOS RELACIONADOS

A continuación se realiza una descripción de trabajos relacionados de interoperabilidad en salud a nivel nacional e internacional.

Aguilar y López [5] en su artículo muestran la problemática de los sistemas de información de salud en Colombia, los cuales han sido desarrollados de manera aislada y no están diseñados para interoperar entre ellos. Además, resalta el uso a nivel internacional del HL7 como la solución más difundida para implementar estándares de comunicación, y presentan una guía para implementar el HL7 v3 en los reportes en el Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA).

López y Blobel [6] describen la complejidad de integrar sistemas de información de salud cuando se deben cumplir los requisitos de interoperabilidad en los niveles de semántica y de lógica de negocio. Presentan una arquitectura basada en un modelo de mediación de mensajes soportada en el estándar HL7 v3 y SOA, con el fin de desarrollar sistemas de salud abiertos, flexibles, reutilizables, semánticamente interoperables, independientes de la plataforma, orientado a servicios y basado en estándares.

Castrillón, González y López [7] mencionan la necesidad de desarrollar sistemas de información que permitan la interoperabilidad para mejorar la colaboración entre los distintos actores del sistema de salud en Colombia. Proponen un modelo de interoperabilidad sustentado en la normatividad y bajo principios orientados a servicios, definen la arquitectura del *software* y está basado en el estándar HL7 CDA para el intercambio de datos.

Dentro de los trabajos relacionados a nivel internacional se encontró la propuesta de Lupșe y Lăcrămioara [8] que presentan una solución para integrar el área de obstetricia con pediatría. Este artículo propone una solución basada en la nube o Cloud Computing, con principios SOA. Utiliza el HL7v3 (HL7CDA) para el intercambio de información y el CIE-10 como estándar para los códigos de los diagnósticos. Esta propuesta se centra en el manejo de historia clínica entre dos áreas de atención.

Con el objeto de lograr la integración de diferentes prestadores de servicios de salud, Pardamean y Rumanda [9] realizaron un estudio de la aplicación de la computación en la nube en la que se propone un sistema integrado para llevar el registro de la historia clínica basado en HL7 con el estándar CIE-10. El acceso de los sistemas existentes se realiza a través de una API directa, y provee acceso móvil/web para entidades

que no posean ningún sistema de información de historia clínica. El sistema está diseñado bajo modalidad SaaS e implementa una arquitectura SOA. Está soportado en servicios web SOAP² basados en HL7.

Pérez y Framiñán [10] utilizan BPM o Business Process Management con el objeto de diseñar un middleware orientado a servicios que permita la interoperabilidad de las distintas aplicaciones que se encuentran en un Hospital Universitario. El artículo muestra la capacidad que tienen estos modelos para aportar información en el diseño de los componentes a integrar. El middleware diseñado está basado en HL7 CDA y utiliza el CIE10, BPM, BPEL³ y el estándar de sistema de codificación de términos clínicos SNOMED⁴.

Kawamoto, Honey y Rubin[11] presentan el proyecto de especificación de servicios para la Salud - HSSP, liderado por el HL7 y la OMG⁵. Este proyecto muestra la importancia de la adopción de arquitecturas orientadas a servicios - SOA, en conjunto con el HL7 para lograr la interoperabilidad semántica en el área de la salud. Proponen un marco para la implementación de SOA, el cual es descrito por el HL7 y la OMG [12] por medio de una guía práctica de implementación.

P. de Toledo et. al [13] proponen el diseño de una interfaz HL7 v2-Message para la comunicación de una aplicación móvil para el monitoreo de pacientes con patologías crónicas con los EHR, como estándar de terminología utiliza el LOINC⁶. En este trabajo se resalta el uso de App's móviles para los pacientes, por lo que propone un sistema móvil que se comunique con un sistema externo de historia clínica, usando HL7.

J. Meyer [14] presenta una plataforma Web-SOA abierta para el acceso y gestión de la historia clínica desde dispositivos móviles dirigida a pacientes y profesionales de salud de acuerdo al flujo de trabajo del proceso de atención de salud. La solución utiliza HL7v3, servicios web SOAP.

Bahga y Madiseti [15] proponen un sistema de historia clínica basado en arquitectura de Cloud permitiendo acceso Web y Mobile a los diferentes participantes del proceso como hospitales, laboratorios clínicos, pacientes y otros. Esta solución utiliza los estándares HL7 v2.x, HL7 v3 entre otros. También utiliza OAuth⁷ como esquema de seguridad.

Lamprinakos et. al [2] proponen una solución de interoperabilidad de historias clínicas a través en un PHR móvil basado en interfaces HL7-FHIR. Define un esquema de seguridad basado en roles, permitiendo compartir información del historial clínico por medio de generación de códigos QR a familiares, médicos o entidades de salud. El acceso a los recursos FHIR es definido por medio de roles de médico, paciente y farmacia.

² Simple Object Access Protocol

³ Business Process Execution Language

⁴ Nomenclatura sistematizada de medicina

⁵ Object Management Group - OMG: es un consorcio dedicado al establecimiento de estándares en tecnologías orientadas a objetos

⁶ Logical Observations and Numerical Codes

⁷ OAuth: Open Authorization, Es un protocolo abierto para permitir la autorización segura de manera sencillo estandarizada para aplicaciones web, móviles y de escritorio.

Franz et. al [16] presentan un sistema integrado de monitorización a través de dispositivos móviles basado en estándares como IHE⁸ y HL7 FHIR. Resaltan que el uso de FHIR con el enfoque RESTful disminuye el tráfico y consumo de batería de los teléfonos móviles ofreciendo una alternativa más ligera que el uso de servicios web SOAP. Muestran que el mantener un monitoreo en tiempo real permite un mayor ajuste del tratamiento médico para los pacientes.

1) Análisis de los trabajos relacionados

Dentro de las propuestas anteriormente mencionadas se observa que todas están orientadas al intercambio de información de las historias clínicas entre prestadores. La propuesta que se presenta aquí propone apoyar el proceso administrativo de autorización de servicios entre IPS y EPS, por medio de un marco de interoperabilidad que incluye al paciente como su actor principal, lo que marca la diferencia con las propuestas anteriormente presentadas.

En los trabajos relacionados a nivel de interoperabilidad técnica, el protocolo SOAP es ampliamente utilizado. Sin embargo, autores como J. Meyer [14], Bahga et. al [15] Lamprinakos et. al [2] y Franz et. al [16], muestran que SOAP es complejo en comparación con el modelo REST, el cual es más sencillo, con una documentación más fácil de entender y con mejor escalabilidad y rendimiento.

En cuanto a la interoperabilidad semántica, los trabajos relacionados muestran mayor tendencia en el uso del HL7v3, no obstante, FHIR también está incidiendo en las soluciones de interoperabilidad desde el año 2014. Según Lamprinakos et. al [2] y Franz et. al [16], FHIR surge como una solución a las dificultades en la implementación del HL7v3 y a la necesidad de transición del HL7v2x.

Como apoyo a la interoperabilidad de procesos, se ha encontrado la tendencia a utilizar SOA. En los artículos relacionados no se encontró el apoyo a la interoperabilidad de procesos en salud junto con el uso del estándar FHIR para la interoperabilidad semántica. Sin embargo, la segunda versión de DSTU⁹ del FHIR establece que "FHIR y SOA no son tecnologías competidoras"; más bien son enfoques de aplicación complementarias que proporcionarían soluciones de mayor valor en el escenario de uso.

En cuanto a implementación, los trabajos relacionados muestran una tendencia al uso de Cloud Computing y aplicaciones móviles a partir del año 2011, esto como respuestas a las necesidades de interoperabilidad en el área de la salud. En cuanto a la seguridad, en los trabajos relacionados también se observa el uso de OAuth como estándar de seguridad.

La propuesta que se presenta aquí propone apoyar el proceso administrativo de autorización de servicios entre IPS y

EPS, por medio de un marco de interoperabilidad que incluye al paciente como su actor principal, lo que marca la diferencia con las propuestas anteriormente presentadas. El marco está soportado en Cloud Computing para el acceso ubico a los sistemas. Además, se utilizará FHIR en combinación con una arquitectura orientada a servicios, aplicando el estilo RESTful que es tendencia en las soluciones de interoperabilidad.

Tabla 1. Resumen de las observaciones a las tecnologías y estándares utilizados en de los trabajos relacionados.

Aspectos	Descripción de las tendencias
Interoperabilidad Técnica	REST en lugar de SOAP.
Interoperabilidad Semántica	FHIR como nueva alternativa sobre HL7v2 y HL7v3.
Interoperabilidad de Procesos	No se encontraron trabajos relacionados en los cuales se use FHIR apoyado en SOA y BPM.
Implementación	El uso de Cloud Computing y Móvil soportado con FHIR.
Seguridad	Los trabajos relacionados a partir del año 2013 han incluido la seguridad. El estandar usado ha sido OAuth.

IV. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE NEGOCIO AS-IS

El proceso de autorización de servicios de salud inicia con la solicitud de una orden de servicio de salud por parte del profesional de salud de una IPS. Esta solicitud de autorización de servicios de salud es registrada en el SI del prestador para luego ser enviada a la aseguradora o EPS. Una vez es enviada esta solicitud, la IPS queda a la espera del acuse de recibo de este envío.

En la EPS el proceso inicia con la recepción de una solicitud de autorización de servicios de salud por parte de una IPS. La EPS debe enviar el acuse de recibo de la solicitud de autorización a la IPS y proceder a auditar la solicitud de autorización para evaluar su pertinencia.

La IPS al ser notificada, registra el acuse de recibido de la solicitud y queda en espera de la respuesta a dicha solicitud. Después de ser auditada por parte de la EPS, la respuesta a la solicitud (Negación o Autorización) es registrada en el SI de autorizaciones de la EPS y también se envía a la IPS solicitante.

Al recibir la respuesta, la IPS debe enviar el acuse de recibo de la respuesta de la solicitud a la EPS y notificar esta respuesta a su respectiva área de atención de salud (y al paciente), con esto se cierra el proceso en la IPS. Una vez la EPS obtiene el acuse de recibo del envío de la respuesta de la solicitud se cierra el proceso en la EPS.

En la Figura 1 se muestra el nivel descriptivo del proceso de negocio colaborativo de autorizaciones de servicios de salud entre EPS y las IPS de su Red de Prestadores. Por esto el Pool IPS tiene en la parte inferior central el símbolo III que indica que son muchas las IPS que interactúan con la EPS.

⁸ IHE: Integrating the Healthcare Enterprise, podría ser traducido como (Integrando las Empresas Sanitarias), es una iniciativa de profesionales de salud (incluyendo colegios profesionales de médicos) y empresas proveedoras cuyo objetivo es mejorar la comunicación entre los sistemas de información que se utilizan en la atención al paciente. <http://www.ihe.net/>

⁹ Draft Standard for Trial Use: Estándar preliminar para pruebas, url: <https://hl7-fhir.github.io>

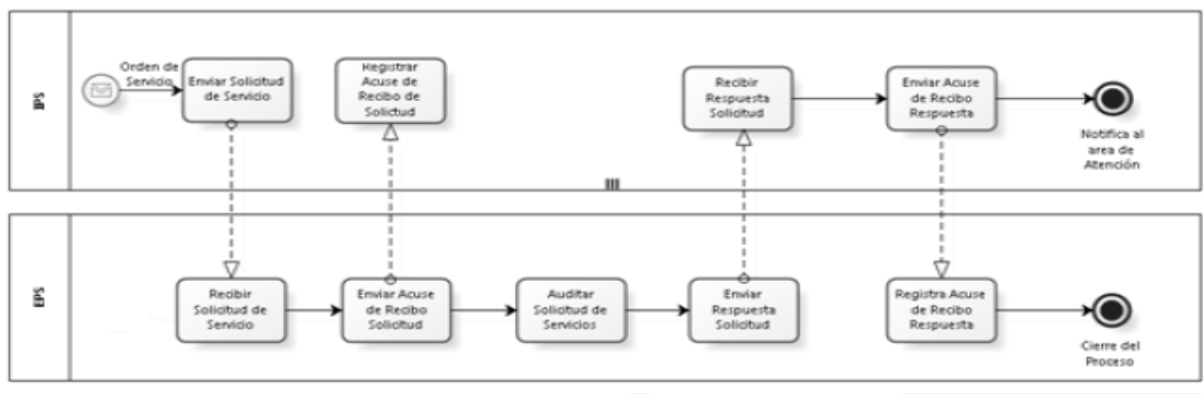


Figura 1. Esquema general del proceso de autorización de servicios de salud entre EPS e IPS.

D. Análisis del proceso en su estado actual

Como se puede observar, para el proceso de autorización de servicios de salud entre las EPS y las IPS, se necesita de una comunicación efectiva y eficiente entre ellas, puesto que de esta comunicación depende la rapidez de la atención del paciente. Actualmente esta comunicación se lleva a cabo a través del envío de documentos por correspondencia, correo electrónico y fax.

Además de las IPS y la EPS, los usuarios son los más interesados en la agilidad y trazabilidad del proceso. En la actualidad no existe un mecanismo que les permita conocer en tiempo real en dónde se encuentra la solicitud (EPS o IPS) y cuál es su estado. Esta situación les genera angustia a los usuarios obligándolos a estar consultando frecuentemente tanto al personal médico que lo atiende, como a la parte administrativa de la IPS que se encarga del proceso de autorizaciones. En ocasiones, debido a la falta de información y demora del proceso deben trasladarse a las EPS para poder obtener información y tratar de acelerar los trámites con el fin de que se les preste el servicio de manera oportuna.

En los casos en que los servicios son solicitados por consulta externa, los pacientes deben dirigirse a la aseguradora (EPS) para entregar la orden médica con el fin de recibir la autorización de la solicitud del servicio de salud, teniendo que hacer largas colas para este trámite. Por políticas de la EPS, para algunos servicios solicitados la autorización se entrega de manera inmediata, pero hay otros servicios para los cuales la EPS exige un proceso de auditoría, por lo que la respuesta tardará el tiempo que dure dicha auditoría. En estos casos el paciente debe volver a la EPS en el tiempo que ésta lo establezca para recibir la respuesta de la solicitud.

Para el área de Coordinación de Calidad de la EPS es importante mantener el registro de la trazabilidad del proceso de autorización, puesto que esta información es requerida por los organismos de control. Sin embargo, obtener esta información de trazabilidad es un proceso que resulta tedioso, pues se debe consultar información del correo electrónico, del sistema de gestión de autorizaciones y en ocasiones solicitar información complementaria a las IPS. Esta labor no es adecuada y no permite medir de forma real la calidad y oportunidad del servicio brindado tanto por el área de autorizaciones de la EPS como de las IPS.

SOLUCIÓN PROPUESTA

E. Re-diseño del Proceso (to-be)

Para el rediseño del proceso (Figura 1) se propone que la EPS implemente y administre un Sistema Integrado de Autorización de Servicios de Salud (SIASS-EPS). El SIASS-EPS facilitará el intercambio de información con los SI de la red de prestadores de la EPS y la notificación en tiempo real a los pacientes del estado de la solicitud de autorización. Esto permitirá llevar el registro de los tiempos transcurridos entre cada trámite del proceso, monitorear las actividades de dicho proceso y notificar alertas de solicitudes nuevas/vencidas.

De esta manera se busca mejorar la relación con las IPS habilitando el acceso a través de interfaces de servicios para la integración de los sistemas de información y la relación con los pacientes, a los cuales se les habilitará un acceso móvil para que reciban sus notificaciones.

Los pacientes podrán conocer el avance de los trámites de las autorizaciones de servicios de salud y tener las herramientas necesarias para que puedan reportar demoras o inconvenientes presentados en la atención de salud a los organismos de control. Esta implementación sería un paso clave para la transparencia en los trámites administrativos y contribuiría a que los ciudadanos colombianos también puedan ser supervisores de sus procesos de autorizaciones.

F. Identificación y Especificación de servicios

Con base en el modelo BPMN del proceso de negocio de autorización de servicios de salud de la

se realiza el mapeo a un modelado SoaML para la especificación de la arquitectura del sistema [17]–[19]. La Tabla 2 presenta el mapeo entre los elementos del modelo BPMN al modelo SoaML.

Tabla 2. Mapeo entre elementos BPMN. Elaboración propia con base en [17]–[19].

Elemento BPMN	Elemento SoaML	Descripción
Diagrama de procesos Colaborativo	servicesArchitecture	Modelo de servicios/ Arquitectura de Servicios
Pool	Participant	Participante
Tarea con Flow Message	serviceContrat	Contrato de Servicio
Flow de Message	MessageType	MessageType

Los participantes identificados son: IPS, EPS, Paciente y SIASS (el SI de la EPS). Teniendo en cuenta que las IPS pueden tener dos roles como lo son IPS Solicitante e IPS

Autorizada, el Pool de IPS se mapea a dos participantes del tipo IPS.

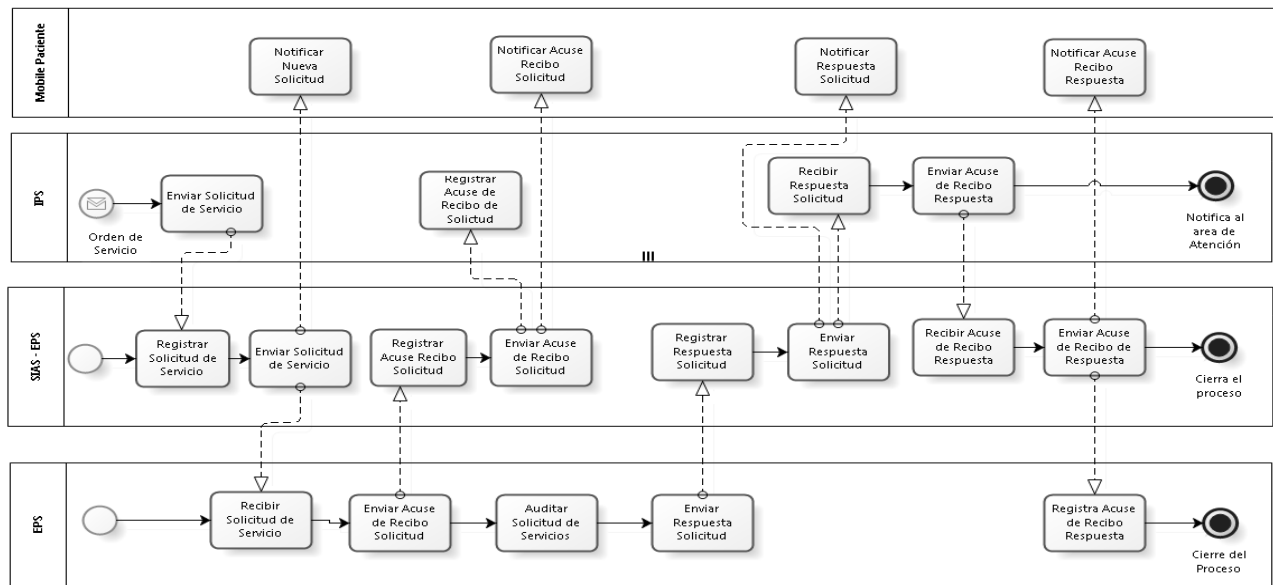


Figura 2 Modelo BPMN 2.0 del proceso de negocio propuesto. Elaboración Propia.

La Figura 3 presenta una diagrama SoaML para mostrar la relación de los servicios que se identificaron en la solución. En este diagrama se visualizan cinco participantes conectados entre sí por cinco serviceContract (Colaboraciones). Los Contratos de Servicios que hay entre IPS y SIASS son los mismos que hay entre el participante SIASS y la EPS, esto se debe a que el participante SIASS es un sistema intermediario entre el participante EPS, los participantes IPS y el paciente.

Los Contratos de Servicios representan el acuerdo entre los participantes, en el cual se determina cómo el servicio va a hacer proporcionado y consumido [17]. A partir del análisis se especifican los siguientes contratos de servicios: SolicitudAutorización, RespuestaAutorización y Notificaciones.

G. Implementación: Solución con HL7-FHIR

Para desarrollar una solución FHIR, se realizó una revisión de especificación FHIR. donde se obtuvo: (i) la documentación general que es un material que describe y definen los recursos, los tipos de datos, las extensiones, códigos y los formatos XML y JSON que son utilizados por el estándar. (ii) La lista de recursos disponibles del estándar FHIR (iii) Las implementaciones de referencias en las que se describe cómo se puede utilizar cada recurso usando REST a través de mensajería, documentos clínicos o mediante una arquitectura basada en servicios.

A partir de las implementaciones de referencias ofrecidas por la especificación FHIR es posible realizar las pruebas del uso del estándar. Para este trabajo se selecciona la implementación de referencia HAPI-FHIR principalmente por

tener una mejor documentación y ejemplos para llevar a cabo las pruebas al estándar.

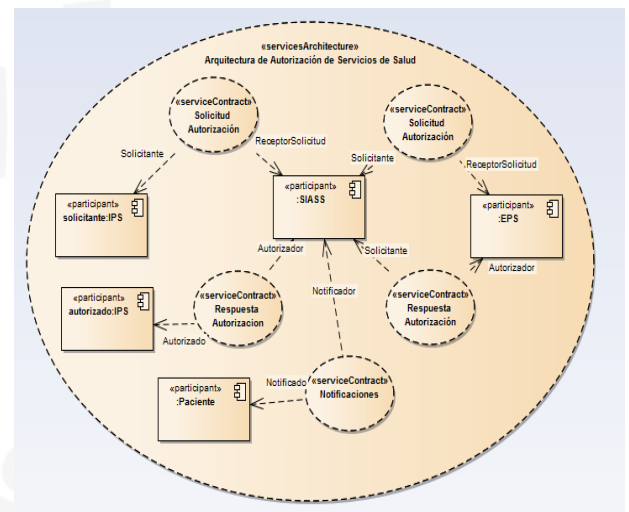


Figura 3. Diagrama SoaML de la Autorización de Servicios de Salud.

Luego de realizar la revisión a la especificación FHIR, se procede a realizar el mapeo de la Arquitectura de Servicios SoaML de acuerdo a la especificación, realizando los siguientes pasos: (i) Mapear el modelo de datos de la arquitectura de servicios propuesta a Recursos y elementos FHIR. (ii) Mapear los servicios identificados a operaciones de la API RESTful FHIR y (iii) Especificar la arquitectura de referencia para las aplicaciones que soportaran FHIR.

Para realizar este mapeo, es necesario la selección de los recursos FHIR que serán utilizados. Los recursos son representaciones de conceptos empleados en el contexto de salud (paciente, medicación, observación, etc), que serán utilizados para el intercambio y/o almacenamiento de datos. Los recursos tienen un conjunto de tipos de datos que son utilizados por los elementos que conforman el recurso, estos tipos de datos puede ser simples o compuestos.

En algunos casos, los recursos disponibles de FHIR tienen una similitud semántica con el elemento al que se mapea, sin embargo es posible que no cumpla con todo los requerimientos del elemento mapeado, por lo que será necesario adicionarle datos al recurso. FHIR provee una forma estándar de realizar esta adición de datos a través de extensiones y perfiles.

Para el mapeo de esta solución se tuvo en cuenta por cada recurso seleccionado la descripción de su contenido, la definición de la estructura del recurso, su alcance, uso, límites, relaciones, ejemplos y demás información documentada en la especificación del FHIR. A continuación se describe la asociación realizada a algunos elementos del modelo de datos que fue mapeado.

1) Mapeo de Message Type de SoaML a Recursos FHIR

Los Message Type representan la información intercambiada entre los participantes de la arquitectura de servicios. Para realizar el mapeo de los Message Type se identificaron los recursos y perfiles FHIR que representan semánticamente dicha información. Teniendo en cuenta que el proceso de autorización de servicios de salud es un proceso administrativo entre diferentes entidades, se seleccionó el recurso Communication¹⁰ (Recurso clasificado como administrativo y de flujo de trabajo) para representar los Message Type. Este recurso es recomendado para estandarizar las comunicaciones SOA en la especificación del FHIR. Los recursos Communication brindan los elementos bases que requieren la Solicitud de Servicios, la Autorización de Servicios y la Negación del Servicio. En la Tabla 3 se muestra el mapeo realizado de los Message Type, Solicitud de autorización y recurso Communication de FHIR.

Para el mapeo de las entidades se emplearon los recursos: Organization para representar a las EPS e IPS, el recurso Patient para representar a los pacientes y el recurso Person para representar las personas. Como un resumen de los elementos SoaML que fueron mapeados a la especificación FHIR para la solución propuesta se elaboró la Tabla 4.

A partir de las operaciones definidas en la Arquitectura de Servicios propuesta, se realizó la definición de las operaciones del API RESTful que se implementarán sobre los recursos. La Tabla 3 muestra un listado de las interfaces de servicios, los métodos Http a utilizar de algunos de los recursos al que será mapeado y el perfil que proporciona las reglas adicionales sobre cómo se utilizarán los recursos.

¹⁰ Recurso Communication:
http://wiki.hl7.org/index.php?title=Communication_FHIR_Resource_Proposa

Tabla 3. Mapeo de cada Message Type al recurso Communication de la especificación FHIR.

Recurso Communication FHIR		
Elementos	Tipo	Solicitud de autorización
Identifier	Identifier	N° Solicitud
Category	CodeableConcept	SOLAUT
Sender	Organization	IPS
Recipient	Organization	EPS
Payload	Content[x]	Personalizado
Subject	Patient	Patient
Status	Code	In-Progress: Cuando se envía. Completed: Cuando sea recibido.
Sent	DateTime	Fecha y Hora de envío
Received	DateTime	Fecha y Hora de recibido

Tabla 4. Modelo de datos de servicios mapeado a recursos o elementos de FHIR.

Tipo de Elemento	Nombre de Elemento	Recurso	Perfil
Message Type	SolicitudDeAutorizacion	Communication	Solicitud
Message Type	AutorizacionServicios	Communication	Autorizacion
Message Type	NegacionServicios	Communication	Negación
Entity	IPS	Organization	N/A
Entity	EPS	Organization	N/A
Entity	Paciente	Patient	Paciente

H. Despliegue de la solución

Para el despliegue de la arquitectura propuesta con posibilidad de acceso desde cualquier lugar y en cualquier momento para los distintos participantes [20] [8] [15] [16], se propone utilizar Cloud Computing para desplegar la plataforma de integración en forma de Software como Servicio. Esta arquitectura se muestra en la Figura 4.

Con el fin de llevar a cabo la arquitectura propuesta se desarrollarán cuatro estrategias o acciones para lograr su correcta implementación. A continuación se explica cada una de estas estrategias.

1) Estrategias de Tipos de Acceso

Se debe permitir el acceso a los usuarios desde distintos tipos de dispositivos (PC y dispositivos móviles). Con este fin se dispone de tres tipos de acceso: acceso directo a API de servicios para IPS que tienen sus propios sistemas de gestión de autorizaciones y tienen la necesidad de integrarse al SIASS propuesto. El acceso API para aplicaciones móviles para los pacientes que requieren realizar consultas del estado de sus solicitudes de servicios de salud a través de dispositivos móviles. El acceso a través de la aplicación web para las IPS que no cuentan con sistema para la gestión de la autorización de servicios de salud.

2) Estrategia de Seguridad

El SIASS permitirá a la EPS la habilitación de las IPS de su red de prestadores y Pacientes, otorgándoles credenciales de acceso de acuerdo a sus respectivos roles. El grupo HL7 en la especificación FHIR recomienda el uso de SSL¹¹ para el intercambio de datos en producción y el uso de OAuth para autenticar y autorizar a usuarios. OAuth (Open Authorization)

¹¹ SSL. Secure Sockets Layer, Capa de Conexión segura

es un estándar que permite que una aplicación acceda a los datos de los usuarios en otro servidor sin la necesidad de tener una copia de las credenciales de los usuarios de ese sistema [21].

Las IPS que requieran la integración de sus sistemas de información con el SIASS, deberán: implementar un servidor FHIR que cumpla con las interfaces de servicios especificadas en la arquitectura de servicios propuesta, suscribir el EndPoint (URI) del Servidor FHIR implementado en el SIASS y suscribir el EndPoint (URI) del Servidor FHIR del SIASS en su sistema de información, el cual debe implementar un cliente FHIR para comunicarse con el SIASS.

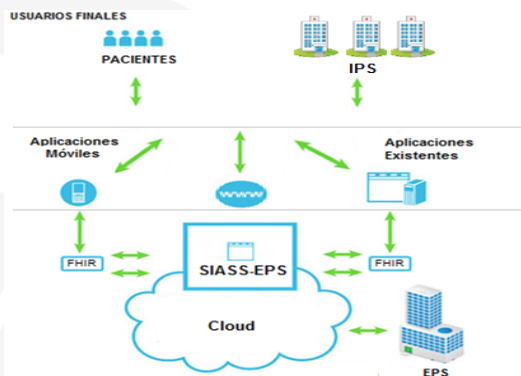


Figura 4. Modelo de despliegue del SIASS.

3) Estrategia de Datos

La solución SIASS deberá mantener el registro de los procesos de solicitud de autorización de servicios realizados a la EPS, permitiendo registrar la trazabilidad de cada trámite efectuado dentro del proceso.

En el caso de las IPS integradas al SIASS, cuando la EPS realice algún trámite en el SIASS, el sistema deberá enviar de manera automática el trámite realizado al EndPoint de la IPS respectiva. Cuando la IPS realice algún trámite de un proceso de autorización, su sistema deberá enviar la información al EndPoint del SIASS y este deberá actualizar la base de datos central. Esta estrategia está representada en la Figura 5.

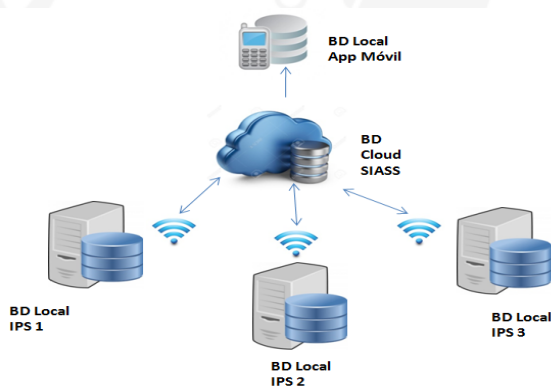


Figura 5. Estrategia de Datos.

Cada entidad participante requiere el manejo de su información de forma autónoma. Por lo tanto aunque se tiene

una base de datos central, cada participante debe mantener su propia información actualizada, que sirva de soporte de otros procesos internos.

4) Estrategia de Notificación Push

La tecnología Push es útil para la notificación de alertas o hitos durante el trámite de un proceso en tiempo real. Por ejemplo al darle recibido a una solicitud de autorización por parte de la aseguradora, el SIASS puede notificar de manera automática a la IPS solicitante la recepción de la solicitud. De igual forma, cuando la aseguradora autorice un servicio, se enviará una notificación de manera automática a la aplicación móvil del paciente.

Estas notificaciones Push se pueden implementar con servidores de notificaciones externos como APNS¹², GCM¹³ MPNS¹⁴ o con desarrollos propios soportados con socket, websocket o signalR en .Net.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El diseño del marco de interoperabilidad propuesto para la comunicación entre las aseguradoras y su red de prestadores, propone una alternativa para alinear el proceso de solicitud de autorización de servicios de salud con las metas del sistema de salud colombiano, puesto que permite un mayor control y gestión del proceso de autorizaciones, reduciendo el re-trabajo en la transcripción de la información y manteniendo la trazabilidad del proceso, con lo cual es posible llevar el control del responsable del proceso en un momento dado.

También provee una herramienta a la EPS para la supervisión en tiempo real de las solicitudes de autorización pendientes y el control de costos de servicios prestados por las IPS. Además, permite la generación de informes de medición de la calidad de los servicios provistos a los pacientes.

La interoperabilidad en los sistemas de salud es vista como una necesidad para garantizar el acceso, oportunidad, calidad y trazabilidad en la atención médica de los pacientes. Los principales aportes de este trabajo son: La inclusión del paciente al proceso de negocio, y el diseño de un prototipo de interoperabilidad realizable basado en estándares internacionales que facilitan la implementación de la interoperabilidad entre los HIS de las entidades participantes

El diseño propuesto permitiría a los Pacientes conocer sus trámites y el estado de los mismos entre IPS y EPS. Para las solicitudes de servicios de consulta externa, el paciente no tendrá que desplazarse hasta los puntos de atención de la EPS para hacer transcribir la orden médica, sino que la IPS le enviará la solicitud directamente a la EPS a través del SIASS. Esto brindará un valor agregado dentro de los servicios que ofrece la EPS a sus afiliados.

El uso del estándar FHIR en este trabajo es el resultado de un diseño para la interoperabilidad semántica entre los sistemas de información de salud de la EPS y su red de prestadores - IPS, con el fin de permitir que estos sistemas interpreten correctamente la información generada desde cada aplicación.

¹² Apple-Push-Notification-Services

¹³ Google Cloud Message

¹⁴ Microsoft Push Notification Services

Para esto se hace la selección de los recursos, la creación de los perfiles y otros elementos FHIR que se requieren para el caso particular del proceso de autorización de servicios de salud.

Trabajos futuros

Se propone el diseño de una arquitectura Federada que combine las plataformas de varias EPS, basada en el marco de interoperabilidad propuesto. Esta arquitectura serviría al Estado Colombiano para realizar la evaluación de los indicadores de oportunidad en la prestación de servicios de salud entre EPS e IPS. Además, con el acceso que el SIASS ofrece al paciente, se podrían realizar encuestas en tiempo real que permitan medir la satisfacción de los usuarios con los servicios de salud prestados con el fin de mejorar la calidad del servicio.

Se recomienda al Estado Colombiano diseñar un marco de interoperabilidad que esté regulado y reglamentado a nivel nacional, soportado bajo estándares de comunicación entre las instituciones de salud. Este modelo permitirá a los proveedores de *software*, las aseguradoras y los prestadores mejorar los sistemas de información con los que cuenta e implementar un acceso e intercambio oportuno de la información.

Por último se propone que se realicen otros trabajos de interoperabilidad soportados con el estándar FHIR para realizar su evaluación como un estándar semántico para Colombia. Esto con el fin de mejorar los diferentes procesos interorganizacionales entre las distintas entidades de salud.

REFERENCIAS

- [1] D. Bender and K. Sartipi, "HL7 FHIR: An Agile and RESTful approach to healthcare information exchange," *Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, 2013 IEEE 26th International Symposium on. pp. 326–331, 2013.
- [28] G. C. Lamprinakos, A. S. Mousas, P. Kapsalis, D. I. Kaklamani, and S. Iakovos, "Using FHIR to develop a healthcare mobile application."
- [29] B. Franz, A. Schuler, and O. Krauss, "Applying FHIR in an Integrated Health Monitoring System," vol. 11, no. 2, pp. 51–56, 2015.
- [30] R. T. Fielding, "Architectural styles and the design of network-based software architectures," University of California, Irvine, 2000.
- [31] R. A. Aguilar Bolaños and D. M. López Gutiérrez, "Guía de implementación HL7 para sistemas de notificación obligatoria en salud pública en Colombia," in *Sistemas & Telemática*, 2009, vol. 7, no. 14.
- [32] D. M. López and B. Blobel, "Architectural approaches for HL7-based health information systems implementation," *Methods Inf. Med.*, vol. 49, no. 2, pp. 196–204, 2010.
- [33] Castrillón Helder Y., González Carolina, and López Diego M., "Modelo Arquitectónico para Interoperabilidad entre Instituciones Prestadoras de Salud en Colombia," *Rev. Ing. Biomédica*, vol. 6, no. 12, p. 12, 2012.
- [34] O.-S. Lupșe, M. M. Vida, and S.-T. Lăcrămioara, "Cloud Computing and Interoperability in Healthcare Information Systems," in *INTELLI 2012: The First International Conference on Intelligent Systems and Applications Cloud Computing and Interoperability in Health*, 2012, p. 81 to 85.
- [35] B. Pardamean and R. R. Rumanda, "Integrated model of cloud-based E-medical record for health care organizations," in *10th WSEAS International Conference on E-Activities*, 2011, pp. 157–162.
- [36] [P. Pérez González, J. M. Framiñán Torres, C. L. Parra, P. L. González Rodríguez, and J. M. León Blanco, "Interoperabilidad de sistemas guiado por modelos de procesos de negocios: una aplicación en el sector sanitario," *X Congr. Ing. Organ. Val.*, 2006.
- [37] [K. Kawamoto, A. Honey, and K. Rubin, "The HL7-OMG Healthcare Services Specification Project: motivation, methodology, and deliverables for enabling a semantically interoperable service-oriented architecture for healthcare.," *J. Am. Med. Inform. Assoc.*, vol. 16, no. 6, pp. 874–81, 2009.
- [38] HI7 and OMG, "The Practical Guide for SOA in Health Care," 2008.
- [39] P. De Toledo, W. Lalinde, F. Del Pozo, S. Member, and D. Thurber, "Interoperability of a Mobile Health Care Solution with Electronic Healthcare Record Systems," pp. 5214–5217, 2006.
- [40] J.-U. Meyer, "Open SOA health web platform for mobile medical apps: Connecting securely mobile devices with distributed electronic health records and medical systems," in *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, 2014, pp. 1–6.
- [41] A. Bahga and V. K. Madiseti, "A Cloud-based Approach for Interoperable Electronic Health Records (EHRs)," vol. 17, no. 5, pp. 894–906, 2013.
- [42] B. Franz, A. Schuler, and O. Krauss, "Applying FHIR in an Integrated Health Monitoring System," *EJBI*, vol. 11, no. 2, 2015.
- [43] A. Delgado and F. Ruiz, "Business process service oriented methodology (BPSOM) with service generation in SoaML," *Adv. Inf. ...*, pp. 672–680, 2011.
- [44] V. M. Medina Cardona and H. Duarte, "BplSoa: framework para el desarrollo de líneas de procesos de negocios orientadas a servicios," 2014.
- [45] B. Elvesæter, C. Carrez, and P. Mohagheghi, *Model-driven service engineering with SoaML*, no. 25. 2011.
- [46] J. Lawler, "The Potential Reality of Service-Oriented Architecture (SOA) in a Cloud Computing Strategy," *J. Inf. Syst. Appl. Res.*, vol. 4, p. 6, 2011.
- [47] AOUTH, "User Authentication with OAuth 2.0," 2015. [Online]. Available: <http://oauth.net/articles/authentication/>. [Accessed: 04-May-2015].

Diseño de estrategias tecnológicas e integración con el plan de negocios mediante la aplicación de una metodología de gestión tecnológica

Yoni Enrique Martínez

Universidad Cooperativa de Colombia- Sede Arauca

jhonyemartinez@hotmail.com

Resumen-El proyecto tiene como finalidad la implementación de una gestión tecnológica, en la cual se puedan obtener análisis estadísticos de uso de tecnologías y estrategias para la competitividad industrial, de acuerdo a la ejecución de una metodología definida para su desarrollo, para este fin, se toma como empresa piloto, la Cooperativa de transportes de Arauca Cootransar Ltda., del municipio de Arauca, Departamento de Arauca valorando la importancia que tiene el sector de los transportes en la región, sin embargo es preciso afirmar que la aplicación de una gestión tecnológica es pertinente en cualquier otro campo de la industria.

Palabras claves: Gestión tecnológica; evaluación; competitividad; estrategias; patrimonio tecnológico.

I. INTRODUCCIÓN

La Gestión tecnológica es un conjunto de pasos o actividades fundamentados en herramientas que permitan lograr un objetivo o culminar un proceso, integra diversos instrumentos, conocimientos, procedimientos y métodos aplicables en distintas ramas.

Actualmente en el ámbito profesional, interactuamos con un mundo globalizado competitivo y con un mercado que cambia por diversos factores, donde cada integrante debe sobrevivir implementando estrategias que le permitan determinar su ventaja competitiva y es aquí donde la gestión tecnológica es protagonista, porque que permite a las organizaciones crear un ventaja competitiva sostenible y sólida, adicionalmente agregar valor al plan estratégico de la empresa.

La gestión tecnológica busca que la organización enlace sus planes estratégicos con los esfuerzos de desarrollo tecnológico, permitiendo mediante su ejecución, identificar sus tecnologías, claves, básicas y aquellas en fases de obsolescencia, también el grado de dominio sobre ellas, por lo cual contribuye aumentar su productividad, inversiones, y mejorar la calidad de los procesos, alimentar la oferta de productos y servicios y obtener mayor diferenciación frente a otros competidores.

El desarrollo efectivo de la gestión tecnológica, se fundamenta en una sólida conceptualización, revisión y documentación de un conjunto de ideas que apoyan las secuencias de actividades necesarias para la obtención de resultados, para lo cual es preciso abordar y comprender los siguientes términos:

Evaluación de la competitividad: Esta función es la etapa inicial para que la empresa pueda afrontar estrategias de desarrollo y consiste en analizar la capacidad de movilizar sus propios recursos, entre ellos los tecnológicos, orientados hacia las principales necesidad que existen en los mercados

actuales, considerando a los principales competidores. El planteamiento de estrategias tecnológicas debe estar fundamentado en los resultados de los análisis que determinen sus tecnologías críticas o claves, y el nivel de dominio sobre ellas.

Auditoría tecnológica: se base en la verificación de las tecnologías, y conocimientos dominados por la organización a través de las principales actividades que desarrolla, conceptuando los productos o servicios ofertados al mercado, con la finalidad de visualizar el diseño de un mapa de las tecnologías que utiliza la empresa y que posteriormente permitirá establecer su capacidad para dominarlas. De acuerdo con esto, es de gran significancia, clasificar las tecnologías en tres grupos tecnológas de núcleo duro, periféricas y básicas.¹⁵

Incremento o enriquecimiento del patrimonio tecnológico propio: La principal reflexión que se debe realizar, es que ninguna empresa debe trabajar de manera individual, para alcanzar de forma ligera su ampliación en nuevas áreas tecnológicas propia de sus actividades pilares.

Se propone una especialización las actividades de gestión que permitan aprovechar el potencial investigador de las (universidades, centros de gestión y desarrollo de tecnologías, otras empresas del sector etc.), este es un factor clave del progreso de la Pequeñas y mediana empresas (PYMES), las cuales tienen como principal desafío, encontrar nuevas formas de adaptar y usar la tecnología desarrollada por otros, o bien, complementar las existentes.

Vigilancia del entorno: La vigilancia tecnológica, se convierte en una actividad primordial para el desarrollo de la gestión tecnológica, la intención de su aplicación tiene dos propósitos, por un lado, conocer los cambios tecnológicos del entorno, la actuación de los principales competidores y otras características que puedan apoyar la identificación de oportunidades y amenazas, ayudando así a la empresa a reconocer su propia competitividad mediante la evaluación, por otro lado seleccionar aquellos contactos externos que estén en capacidad de proporcionar nuevas tecnologías claves para la empresa con la intención de enriquecer su patrimonio tecnológico.

¹⁵ Hidalgo Nuchera (1998) - La gestión de la tecnología como factor estratégico de la competitividad industrial - Editorial Mosrt. Madrid

II. MÉTODOS

Para llevar a cabo el diseño adecuado de las estrategias tecnológicas en la empresa Cootransar Ltda., este proyecto se adopta en un sólido modelo de gestión tecnológica.

Modelo de Hidalgo (1999) El autor señala que una eficiente gestión de la tecnología requiere considerar todos los aspectos relacionados con la capacidad de la empresa para reconocer las señales del entorno sobre las oportunidades y amenazas de su posición tecnológica, la capacidad de adquirir y desarrollar los recursos tecnológicos que necesita, la capacidad de asimilar las tecnologías que se incorporen a los procesos y la capacidad de aprender de la experiencia que se adquiriera. Para conseguir este objetivo es imperante la caracterización de un conjunto de funciones o etapas que expliciten los requisitos de este proceso y, por otro, la aplicación de un conjunto de herramientas o técnicas que permitan tener un control de las actividades desarrolladas y, al mismo tiempo, adquirir experiencias que puedan ser aprovechadas en situaciones futuras. La Figura 1 muestra el modelo seleccionado para llevar a cabo la ejecución de la gestión tecnológica.

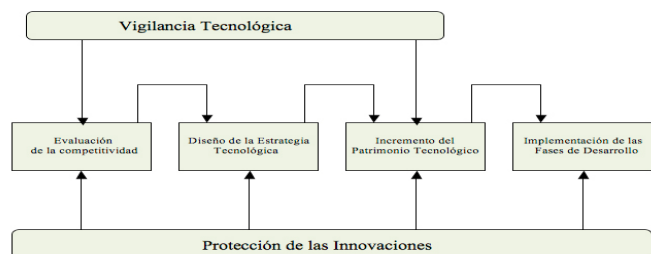


Figura 1. La Gestión de la Tecnología como Factor Estratégico de la Competitividad Industrial - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid, España 1999. Fuente: HIDALGO Nuchera, Antonio

A. Fases de exploración

Previo al desarrollo de la aplicación de la gestión tecnológica, tomando como piloto a la Cooperativa transportadora de Arauca, Cootransar Ltda., fue necesario realizar el registro de una base del conocimiento, que consistió en la aplicación de entrevistas y encuestas con el personal administrativo de la empresa, entre ellos el Gerente, Jefe de contabilidad, Supervisora Hes, y Coordinador de transportes, quienes facilitaron información de operaciones y procedimientos internos de la Cooperativa de manera consiente, reconociendo la importancia del trabajo académico e investigativo a desarrollar en beneficio de la organización,

se da inicio a la fase de “evaluación de la competitividad”, en esta primera fase se detalla la aplicación de una auditoría tecnológica, la cual se inicia con el levantamiento de un inventario tecnológico que permite registrar las tecnologías existentes dentro la empresa. Luego de la consolidación de la información obtenida se realiza una clasificación de las tecnologías de acuerdo a la incorporación del conocimiento en objetos, registros, conocimientos e instituciones y se describe de manera detallada el estado de las tecnologías existentes y el dominio que tiene la empresa sobre cada una de ellas, y se pueden interpretar a través del análisis de la información representado en graficas de barras y gráficos de tortas. Seguidamente se aborda la fase de “Diseño de estrategia tecnológica”, se muestra la aplicación de una Matriz DOFA-

estratégica, en la que se describen las Debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de Cootransar Ltda., derivadas del análisis de la base del conocimiento de la empresa y de los resultados de evaluación de la competitividad, posteriormente se realiza un cruce de la misma para obtener diferentes planteamientos de estrategias como FO = (Maxi-Maxi) Estrategia para maximizar tanto las F como las O. FA (Maxi-Mini), para maximizar las fortalezas y minimizar las amenazas. DO = (Mini-Mini) Estrategia para minimizar tanto las A como las D. DA= (Mini-Mini) Estrategia para minimizar las A como más D.

Se continua con el análisis del “Incremento del patrimonio tecnológico”, para lo cual fue necesario realizar una revisión de las alianzas comerciales que tiene la Cooperativa con empresas del sector que desarrollan similares actividades comerciales, así mismo la verificación de las alianzas con instituciones de educación superior y centros de desarrollo tecnológico, en esta fase de describe el tipo de enlace con cada entidad y se documenta el objeto de la articulación.

En consecuencia se desarrolla la fase de “Vigilancia tecnológica”, para lo cual se aplica una herramienta de benchmarking tecnológico, con el objetivo de identificar las empresas del sector que desarrollan actividades de transporte, y en síntesis, reconocer la posición tecnológica de la empresa en la región, y su cobertura en servicios habilitados.

Finalmente se estructuran las conclusiones y recomendaciones específicas que resaltan la importancia de la ejecución de la gestión tecnológica y la incorporación de la vigilancia tecnológica como una cultura para la constante actualización y mejoramiento continuo de procesos que determinen las estrategias y ventajas competitivas para la sostenibilidad de las empresas.

Los criterios de la evaluación y de clasificación de la información recopilada de este proyecto, se analizan bajo 3 referentes:

1. Normas nacionales: Hace referencia a la constitución política, en la cual se encuentran artículos y decretos como: el tiempo de vida de los activos en Colombia, licencias de operación para el servicio de transporte especial, como se expresa en el decreto 0348 del 25 de febrero de 2015, entre otras.
2. Normas internacionales: Principalmente nos referimos a la ISO (Organización Internacional de Normalización) 9001:2008, en la cual se argumentan todas las acciones y procedimientos para construir el sistema de gestión de la calidad.
3. Concepto técnico de Auditoría: Durante la ejecución de la auditoría se realiza verificación detallada del estado de las tecnologías, procediendo con la revisión detallada, a nivel de objetos se verifica el funcionamiento o ficha de operatividad, pruebas de *hardware* y rendimiento, en registros se verifica el documento o soporte que sustenta la información, en conocimientos se realiza la verificación de los perfiles laborales de los empleados y la idoneidad de estos de acuerdo a las competencias laborales establecidas por la misma empresa, finalmente para los convenios y/o alianzas con otras organizaciones, se verifican los acuerdos firmados entre

ambas partes. De acuerdo con cada una de las validaciones mencionadas se emite un concepto técnico propio que define su estado actual.

III. RESULTADOS

En la tabla 1 se presenta a continuación el estado general de las tecnologías existentes de Cootransar Ltda. De acuerdo a la incorporación del conocimiento.

Tabla 1. Resumen estado tecnologías - Cootransar Ltda.

TECNOLOGÍA	CLAVE	BASICA	EMERGENTE	Total general
OBJETOS	85	26	0	111
REGISTROS	27	28	0	55
CONOCIMIENTOS	18	0	0	18
INSTITUCIÓN	1	0	4	5
Total general	131	54	4	189

A través de la consolidación del inventario tecnológico, clasificado en las 4 categorías del conocimiento: objetos, registros, conocimientos e instituciones, (grafico 1) se obtuvo información de 189 elementos tecnológicos, por tanto se obtiene como resultado que el 69 % son tecnologías claves y corresponden a la valoración de 131 elementos.

Las tecnologías básicas representan el 29 % de una valoración de 54 elementos y las tecnologías emergentes alcanzan un 2 % con valoración de 4 elementos tecnológicos.

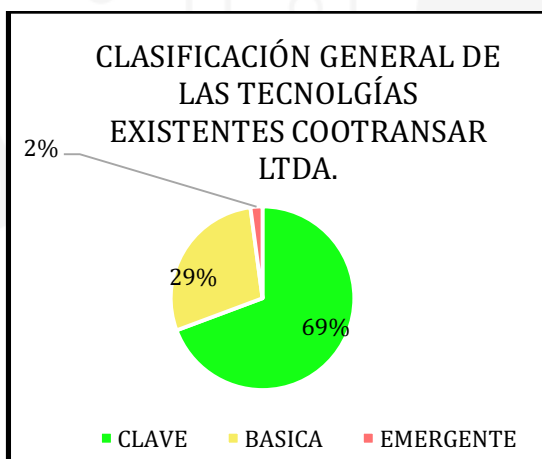


Gráfico 1. Clasificación de las tecnologías existentes Cootransar Ltda.

Poseer y dominar las tecnologías claves y básicas es muy importante para cualquier empresa, por tanto también es importante comprender la transición que tienen estas tecnologías que nacen en emergentes, posteriormente se convierten en básicas y en muchos casos terminan siendo las tecnologías claves para el funcionamiento de una empresa

Ciclo de vida de las tecnologías existentes: Hasta alcanzar el límite una determinada tecnología, esta presenta una evolución

que habitualmente pasa por los estados de tecnología emergente, clave y tecnología base, acumulando con el paso del tiempo mayor capacidad de rendimiento tecnológico así como esfuerzo de inversión, si se ha abordado esta desde sus estados iniciales. Esto posibilita el alcanzar mayores ventajas competitivas por alcanzar mejoras de rendimiento con anterioridad a la competencia.

De acuerdo al análisis individual por ciclo de vida de cada una de las categorías, (grafico 2) se obtiene a nivel general, las siguientes cantidades de elementos por fases: Fase de crecimiento (61) correspondiente al 32 % de las tecnologías existentes.

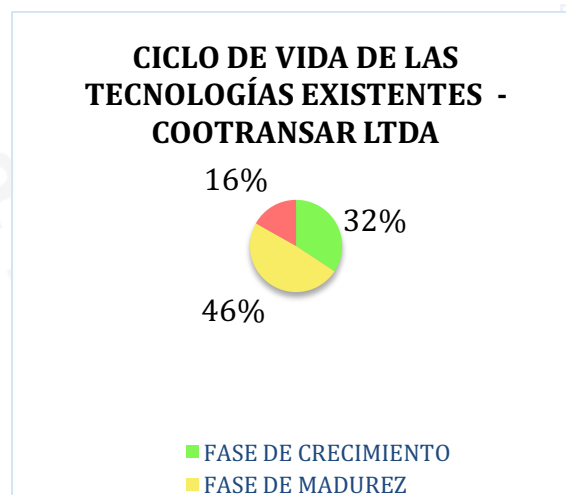


Gráfico 2. Distribución del ciclo de vida de las tecnologías existentes.

En la fase de madurez (87) lo cual representa el 46 % el porcentaje más alto de las tecnologías analizadas, y finalmente en la fase de saturación (30), correspondiente al 16 % de las tecnologías que deben ser revisadas de carácter urgente y posteriormente aplicar acciones de mejora y solución oportuna.

Una vez realizada la evaluación de la competitividad en la cual se logra identificar el estado de las tecnológicas existentes, su ciclo de vida y clasificación para la utilización de proyectos se procede.

En el desarrollo de la vigilancia tecnológica, teniendo en como base la información de la cooperativa de transportes de Arauca Cootransar Ltda., se realiza la consolidación de la información de las empresas de transporte más importantes de la región, inspeccionando específicamente los servicios habilitados por el ministerio de transporte, sus coberturas municipales y departamentales, (tabla 02) y se analiza posteriormente las tecnologías que utilizan para el desarrollo de sus principales actividades.

Tabla 2. Variables analizadas - para la vigilancia tecnológica.

SERVICIOS HABILITADOS MINISTERIO DE	COBERTURA DEPARTAMENTAL	VEHICULOS FORMALES PARA TRANSPORTE
CARGA MASIVA	ARAUCA	AUTOMOVIL (TAXI)
ENVIOS DOMESTICOS	ARAQUITA	CAMIONES
TRANSPORTE ESPECIAL	CRAVO NORTE	CAMIONETAS

TRANSPORTE URBANO	FORTUL	TRACTO CAMION
TRANSPORTE MIXTO (INTERVEREDAL)	PUERTO RONDON	BUS, MICRO BUS, BUSETA
TRANSPORTE INTERMUNICIPAL	SARAVENA	REMOLQUE,
TRANSPORTE INTERDEPARTAMENTAL	TAME	VOLQUETAS, VOLQUETA DOBLE
TRANSPORTE FLUVIAL	OTROS DEPARTAMENTOS	LANCHA MOTOR

En la tabla 3 se presenta el listado de las empresas de transporte de la región, las cuales en su mayoría tienen actividades de transporte nivel del departamento de Arauca. Se realiza la validación inicialmente para determinar el rango de servicios habilitados.

Tabla 3. Principales empresa de transportes de la región.

NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN	NOMBRE COMERCIAL EN LA REGIÓN
Cooperativa transportadora de Arauca	Cootransar
Empresa De Transportes Translacor Ltda	Translacor
Cooperativa Araucana De Transportadores Ltda	Cootrasaraucana
Servioriente J E Sas	Servioriente
Cooperativa De Transporte Del Sarare Ltda	Cootradelsa
Ruiz Gomez Sas	Ruiz Gómez Sas
Cooperativa De Transportadores De Tame Ltda	Cootranstame
Cooperativa De Transportadores Del Sarare Ltda	Cootransarare
Radio Taxi Tame Ltda	RadiTax Tame
Radio Tax Arauca Ltda	RadioTax Arauca
Servicio De Taxi Ejecutivo Ltda	Ejecutivos
Asociacion De Transporte Fluvial De Arauca	Astrafluarauca
Brisas Del Llano Ltda	Brisas del llano
Distribuciones Felix Pabon E U	Felix Pabon
Suministros Y Transportes Moreno E U	Tranportes Moreno
Enlace De Transportes Y Servicios Ltda	Servicios Ltda
Cooperativa Transportadora De Materiales Del Sarare Ltda	Del sarare Ltda
Cooperativa De Transporte De Carga De Arauca Cootranscarga Ltda	Cootranscarga
Representación Ecoturística Llanotours Ltda	Llanotours
Service Drivers SAS	Service Drivers

El gráfico 3 muestra en color resultado la posición de nuestra empresa piloto, en un grupo inferior, frente a otras empresas del sector que han diversificado sus actividades y se han habilitado en otros servicios y sus punteras en este campo.

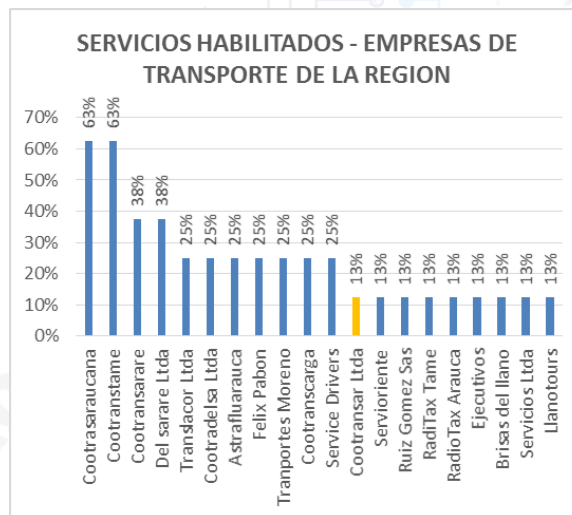


Gráfico 3. Servicios habilitados de empresas.

La cobertura de las empresas de transporte, obedece a las rutas en las cuales pueden garantizar el servicio de transporte en todo momento. En el gráfico 4 se muestran las empresa que ampliar sus operaciones y se visibilizan en otros departamentos, líderes en cobertura.

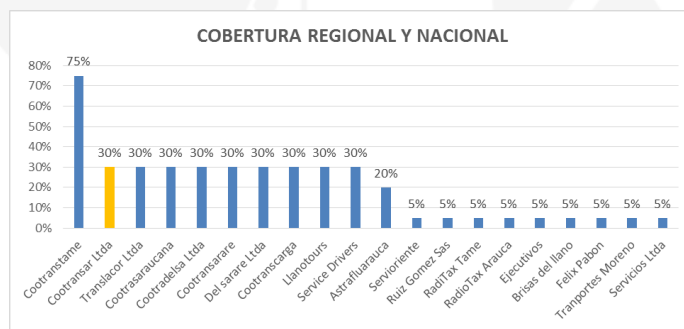


Gráfico 4. Análisis de coberturas.

La implementación efectiva y adquisición de nuevas tecnologías para el desarrollo de los productos o servicios, marca la diferencia a nivel competitivo en las empresas del sector, como se mencionó anteriormente, la clasificación del uso de las tecnologías claves del negocio se determina de acuerdo a su incorporación en servicios habilitados, es decir: Si una empresa de transportes tiene habilitados el servicio de “Carga masiva”, lo acorde debe ser que la empresa tenga la disponibilidad de vehículos como camiones y tracto camiones para la prestación de este servicio.

En el gráfico 5 se presenta el análisis del nivel de tecnologías claves usadas por las empresas de la región para brindar los servicios de transporte a los usuarios.

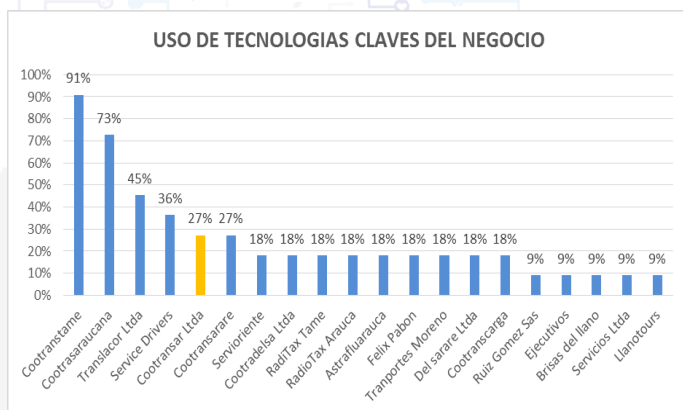


Gráfico 5. Uso de tecnologías claves del negocio.

La derivación de estos análisis se fundamenta en la revisión detallada de las variables expuestas en los gráficos anteriores, las cuales hacen parte de una matriz de vigilancia tecnológica, diseñada como herramienta de consolidación de información, por tanto es relevante afirmar que el desarrollo efectivo de una gestión tecnológica es aplicable al sector de transportes al igual que a otros sectores de la industria como instituciones educativas, entidades del sector salud entre otras.

IV. CONCLUSIONES

Una vez concluido este trabajo de investigación, se consideran que las conclusiones más relevantes son:

- 1) En la actualidad, contamos con gran variedad de herramientas para la gestión de la tecnología, que facilitan la obtención de resultados cuantitativos y calificativos, como se expuso en las aplicaciones incorporadas para cada fase de la metodología, la finalidad de su ejecución está orientada a que las empresas centren sus esfuerzos de desarrollo tecnológico para mejorar competencias esenciales como la ampliación de mercados, alimentar la oferta de productos y servicios e invertir en las tecnologías sofisticadas, promover una mayor diferenciación frente a sus competidores, lograr menores costos de inversión a mediano y largo plazo, contemplando sus objetivos y planes estratégicos.
- 2) Sin embargo es preciso decir que las principales transformaciones hacia nuevos cambios positivos que ayuden a mejorar la competitividad deben iniciar con la voluntad de todo el equipo de trabajo, especialmente en las decisiones gerenciales que propicien una cultura tecnológica; de acuerdo con las acciones de mejora que se implementen, estas deben estar acompañadas de una planeación detallada a la cual se le puedan monitorear sus variables de tiempo de ejecución, y gastos acumulados; “no es una tarea sencilla”, pero tampoco es “imposible”, se requiere de la definición de unos propósitos claros y un estricto orden en la planeación y seguimiento continuo a su desarrollo.
- 3) La implementación de herramientas de gestión tecnológica y de seguimientos internos a procesos, son indispensables para la evolución de cualquier organización por ende sus planes estratégicos deben incorporar la revisión del estado de las tecnologías de forma periódica, considerándola como un factor crítico para la estabilidad y buen funcionamiento de las operaciones, un ejemplo de lo anteriormente descrito es el siguiente: Cootransar Ltda.

Adelanta acciones de mejora en sus procesos para certificarse con la norma de calidad ISO 9001, y de acuerdo con la revisión realizada en la evaluación de la competitividad, se halló que 10 procedimientos para las operaciones diarias no están documentados, automáticamente es una actividad que se debe subsanar con prioridad alta, y debe estar incluida dentro de la planeación estratégica de la empresa.

- 4) El crecimiento de las empresas no está sujeto exclusivamente factores como la capacidad económica; también tiene que ver con su capacidad para planear, invertir y generar nuevas tecnologías que determinen una ventaja competitiva, lo cual se deriva de un proceso continuo de vigilancia del entorno, que consiste en analizar la competencia en variables importantes como ¿Qué tecnología usan para el desarrollo de sus principales actividades?, ¿Cuáles son sus proveedores tecnológicos, ?, ¿Qué convenios tienen en el área de influencia? Seguido de un análisis de necesidades del mercado, de esta manera es posible implementar nuevas tecnologías de forma estratégica para desarrollar nuevos productos y/o servicios que pueden convertirse en la fuente del sostenimiento para la empresa en su etapa de maduración.
- 5) Las alianzas estratégicas con organizaciones que realizan actividades acorde a los objetivos de la empresa, maximizan las oportunidades de negocio debido a la colaboración para el uso de las tecnologías claves entre ambas partes; otro sector estratégico que aporta de manera significativa a la gestión son los convenios con la “academia”, (universidad-empresa) cuya herramienta principal es el aporte principal es la exploración de respuestas como base para solución de problemas y requerimientos de carácter investigativo, técnico y científico.
- 6) De acuerdo con la metodología adaptada para desarrollo de este trabajo de investigación, el Dr. Hidalgo Nuquera (1999), el “La Gestión de la Tecnología como Factor Estratégico de la Competitividad Industrial”, propone el uso de un conjunto de herramientas claves para la implementación de las fases de desarrollo, estas son: Análisis de valor, trabajo en equipo y la gestión de proyectos, a través de las cuales la empresa logra su aplicación para hacer más funcionales las operaciones y reconocer el valor agregado a cada uno de sus procesos, así mismo se direcciona la preponderancia de sus acciones de mejora continua.

V. RECOMENDACIONES

- 1) Las empresas del sector de transportes de la región, deben ser consecuentes con las visiones planteadas, para ello sus objetivos, políticas internas y planes de gestión estratégica, deben estar articulados con pilares que promuevan la implementación de nuevas tecnologías, como motor de desarrollo para todos sus procesos.
- 2) La incorporación de la gestión de la calidad a los procesos existentes, es una acción de mejora visible en cualquier organización, ya que sus procedimientos estarán ajustados a las normas nacionales e internacionales, y pone a la

empresa en vanguardia de revisiones y auditorias de calidad.

- 3) El seguimiento periódico al estado de los recursos tecnológicos y nuevas tendencias del mercados, son factores determinantes a la hora de tomar decisiones en la adquisición de nuevas tecnologías.
- 4) La planeación constante de estrategias de mercadeo que articulen el uso de las tecnologías como fuente principal para búsqueda nuevos clientes y oportunidades de negocio tienen tendencia a la efectividad y el éxito de su implementación.
- 5) El uso de herramientas tecnológicas para anunciarse publicitariamente son vitales para ganar posición en los mercados y lograr el reconocimiento, ejemplo: páginas web, redes sociales, portafolios de servicios electrónicos, aplicaciones móviles, son recursos disponibles, incluso, algunos de los mencionados son gratuitos, los cuales deben ser aprovechados para hacer visible la empresa en cualquier espacio geográfico.
- 6) La cultura tecnológica, la podríamos comparar con un proceso de aprendizaje, donde se comenten errores en la etapas iniciales, luego se aprende de ellos y con su continua práctica se logra ser competentes en su aplicación; así mismo se debe comprender que la cultura tecnológica se sustentan en la aplicación de herramientas de gestión tecnológica, planeación estratégica, aplicación de normas internacionales, articulación con otras organizaciones entre otras, y su éxito se basa en la aplicación periódica y seguimiento continuo.

AGRADECIMIENTO

F. A. agradecimientos especiales a Cootransar Ltda. Universidad Cooperativa de Colombia, Ing. Yanny Albeiro castaño, coordinador de investigaciones del programa de ingeniería de sistemas, Ing. Hermes Mayorga, Coordinador del programa de ingeniería de sistemas, Ing. Carlos puentes, Docente del programa de ingeniería de sistemas, Ing. Mauricio Lara, Docente del programa de ingeniería de sistemas e Ing. Gloria Guevara Rueda, Docente del programa de ingeniería de sistemas.

REFERENCIAS

- [1] De Fredds Ramos, P, (1999) Criterios de Selección de Tecnologías en Competitividad, Madrid http://www.eoi.es/wiki/index.php/Criterios_de_Selecci%C3%B3n_
- [2] Hidalgo Nuchera (1998) - La gestión de la tecnología como factor estratégico de la competitividad industrial - Editorial Mosrt. Madrid
- [3] MORCILLO, P. (1997): Dirección estratégica de la tecnología y la innovación. Un enfoque de competencias, Civitas, Madrid.
- [4] Decreto 0348 de 2015 - Ministerio de transporte Constitución política de Colombia.
- [5] MORÍN, J. y SEURAT, R. (1998): Gestión de los recursos tecnológicos COTEC. Madrid
- [6] PALOP, F. y VICENTE, J. M. (1994): Estructura de la vigilancia, Master en Gestión de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Carlos III, Madrid.

Matriz de sensores: fundamento de la nariz electrónica

Iveth Moreno, José Serracín
 Centro Regional de Chiriquí
 Universidad Tecnológica de Panamá
 {iveth.moreno, jose.serracin}@utp.ac.pa

Resumen—En este artículo se presenta el concepto y funcionamiento de una nariz electrónica basada en una fusión de sensores químicos, que permiten detectar y clasificar olores. Las narices electrónicas se destacan por sus diversas aplicaciones, las cuales van desde aplicaciones en la agroindustria hasta aplicaciones en la medicina. Aquí se presentan algunas de las pruebas realizadas y los resultados que se obtuvieron. Finalmente, la nariz electrónica diseñada es viable para la detección y clasificación de olores.

Palabras claves: Matriz de sensores; nariz electrónica; sensores químicos.

I. INTRODUCCIÓN

Las narices electrónicas han sido diseñadas y construidas para emular el sentido del olfato humano. Son capaces de detectar y clasificar olores complejos, las más comunes basan su funcionamiento en una matriz de sensores, o por un espectrómetro de masas, también existen las que usan cromatografía de gases [1].

En el caso de la matriz de sensores, la identificación de un olor depende en gran parte del tipo de sensor, ya que cada uno de ellos está caracterizado por su propio grado de selectividad, es decir, por su capacidad para responder a diferentes tipos de gases. Esta característica es la propiedad clave en la cual las narices electrónicas encuentran su principio de operación [2].

Una de las definiciones más destacadas de una nariz electrónica, es la de Gardner y Barlett [3]: “instrumento que comprende una agrupación de sensores químicos con sensibilidades parcialmente solapadas junto a un sistema de reconocimiento de patrones, capaz de analizar y reconocer aromas simples o complejos”.

En este artículo se presenta de forma breve el funcionamiento de una nariz electrónica polivalente, desde la toma de muestra hasta la clasificación de olores. El artículo se presenta de la siguiente manera: en la sección 2 el funcionamiento de la Nariz Electrónica; en la sección 3 Aplicaciones de la Nariz Electrónica; en la sección 4 Diseño de la Nariz Electrónica; en la sección 5 se presentan algunos resultados; y en la sección 6 las Conclusiones.

II. FUNCIONAMIENTO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA

La matriz de sensores de una nariz electrónica consiste de un número de sensores que son construidos con una variedad de materiales químicos o biológicos sensibles al olor. Cada olor genera una huella olfativa para determinada matriz de sensores. Esta característica es la que permite formar una base

de datos que serán usados con técnicas de reconocimiento de patrones para la identificación y clasificación del olor [4].

Según Durán C.M.A.[5], en el sistema de la nariz electrónica existen tres módulos: el químico, el electrónico y el informático. En la figura 1 se presenta un esquema del sistema y sus módulos.

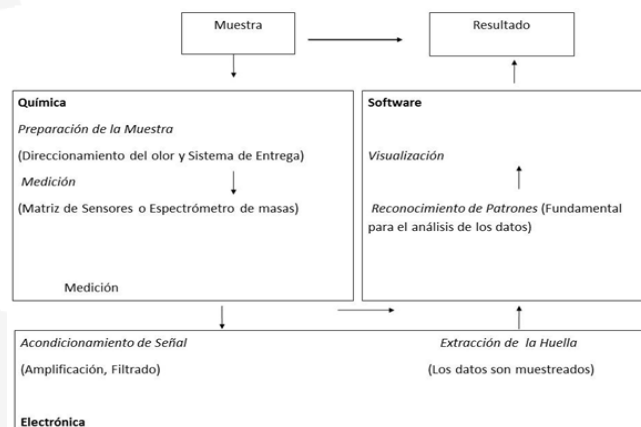


Figura 1. El sistema de olfato electrónico y sus módulos.

III. APLICACIONES DE LA NARIZ ELECTRÓNICA

Los avances en la tecnología de los sensores de olor y en la inteligencia artificial han impulsado el desarrollo de la nariz electrónica en los últimos años, lo que conlleva a que se utilice en diversas aplicaciones. Aplicaciones que incluyen áreas tan diversas como lo son la agroindustria y la medicina, entre otras. Otra aplicación que se considera relevante es el uso de la nariz electrónica sobre un robot autónomo móvil, ya que amplía enormemente las ventajas de contar con un sistema de olfato artificial.

Algunas aplicaciones relevantes son: para detectar el vino añejo [6]; evaluación del índice de calidad del melocotón [7]; predicción de la acidez, solubilidad del sólido y firmeza de la pera [8]; muestreo del aire en cabinas de automóviles [9]; sistemas de detección de humo[10]; para identificar y cuantificar componentes volátiles peligrosos [11]; para el diagnóstico de la neumonía en sus etapas tempranas [12]; detección de componentes volátiles en la orina [13]; detección de niveles de glucosa en el sudor humano [14]; inspección del medio ambiente utilizando robots móviles [15]; y robots móviles para estudio del suelo, basado en narices electrónicas[16].

IV. DISEÑO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA

El diseño de la nariz electrónica que se explica en este artículo, se realizó a partir de los sensores químicos de olor que se eligieron. En este caso se usaron 12 sensores de olor diferentes, cuya selección estuvo fundamentada en las siguientes razones: bajo costo, disponibilidad en el mercado y aplicaciones comunes. En la figura 2 se observan algunos de los sensores utilizados en la Nariz Electrónica.

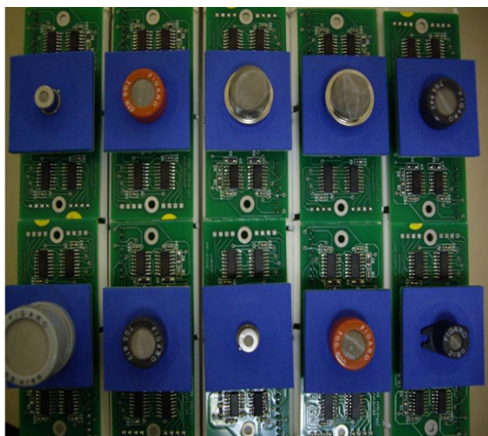


Figura 2. Algunos de los sensores utilizados en la Nariz Electrónica.

Los sensores reaccionan de forma diferente ante la presencia de cada olor. Además de estos sensores se añadió un sensor de temperatura para investigar el grado de influencia que tiene la temperatura sobre las medidas que se obtienen de los sensores de olor.

Los sensores de olor se ubicaron en una cámara para que las partículas gaseosas se concentraran en un espacio que facilitará la adquisición de las medidas, estas medidas se amplificaban en las tarjetas que se observan en la figura 2, luego se convertían en datos binarios a través del PIC 18F442; para luego ser enviados estos datos a un computador a través de una comunicación serial, donde se observaría a través de un interfaz de usuario el comportamiento de cada uno de los sensores con respecto a los olores expuestos.

En la figura 3 se observa la nariz electrónica en su versión final, a la cual también se le incluyó un ventilador, el cual hacía las funciones de “aspirar” y “expulsar” el olor hacia y desde la cámara donde estaban ubicados los sensores.

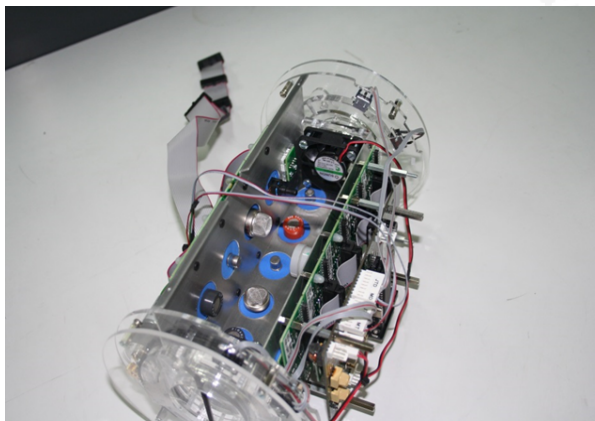


Figura 3. Nariz Electrónica.

V. RESULTADOS

Una vez concluido el diseño de la nariz electrónica se procedió a realizar diferentes pruebas con diferentes olores y con diferentes sensores; con la finalidad de verificar su diseño y funcionamiento.

La primera prueba que se realizó fue para verificar el funcionamiento de los sensores ante la presencia de olores. En este caso se utilizaron frutas maduras y verdes, cuyas propiedades organolépticas eran fácilmente perceptibles no solo para los sensores sino también para el ser humano. Los sensores que se utilizaron fueron los de amoníaco, hidrógeno, dióxido de carbono, el de vapores orgánicos, el de humedad relativa y el de la temperatura. Estos sensores demostraron que reaccionaban de diferente forma al mismo olor y que reaccionaban de diferente forma a diferentes olores; que es precisamente lo que forma la huella olfativa para cada olor. En las siguientes figuras se representan el comportamiento de los sensores ante frutas maduras y frutas verdes.

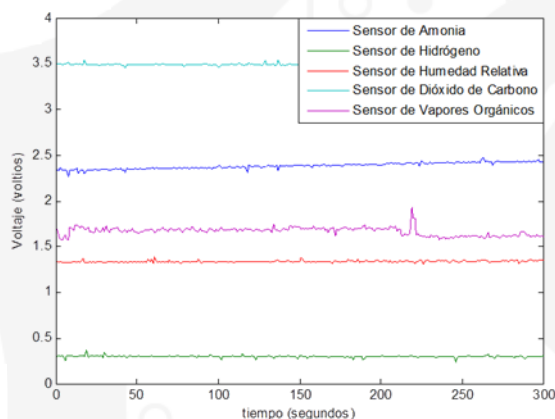


Figura 4. Representación gráfica del comportamiento de cinco sensores diferentes expuestos a frutas maduras.

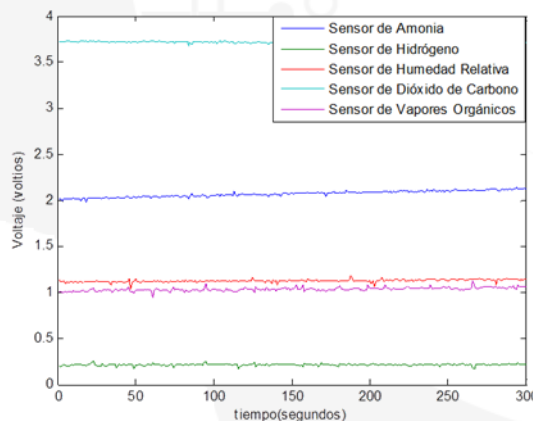


Figura 5. Representación gráfica del comportamiento de cinco sensores diferentes expuestos a frutas verdes.

Estas pruebas demostraron experimentalmente que los sensores de amoníaco y vapores orgánicos son más sensibles al proceso de maduración de las frutas. Así como, que algunos de los sensores utilizados, mostraron valores diferentes con respecto a muestras de diferentes categorías, y lo más importante que los valores medidos entre las frutas verdes y las maduras son diferentes.

Los sensores son más sensibles a los gases que se mantienen dentro de algún tipo de cámara. Se observó que los

sensores presentaban una respuesta rápida al exponerse a la fuente de olor, y sin embargo al retirar la fuente de olor, los sensores demoraban algún tiempo en recobrar los valores normales.

Los sensores de óxido metálico, a medida que transcurre el tiempo de uso, aumentan su temperatura hasta aproximadamente los 40°. El comportamiento de los sensores es diferente a temperaturas bajas y a temperaturas altas.

De los sensores utilizados, el de dióxido de carbón es muy sensible, inclusive presenta algún tipo de respuesta aún sin presencia de un fuente de olor; y esto se debe principalmente a que puede detectar los niveles de dióxido de carbón expulsados por el cuerpo humano.

Se realizaron otras pruebas para verificar la funcionalidad de la nariz electrónica, como se observa en la figura 6, donde se aprecia los valores medidos por cada sensor frente a cada muestra de olor. En este caso “aire”, se refiere a ausencia de muestra de olor.

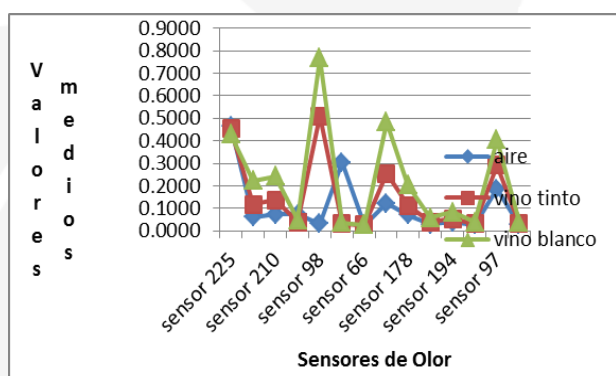


Figura 6. Otras pruebas con otras muestras de olor.

VI. CONCLUSIONES

El trabajo realizado demostró que es factible construir una nariz electrónica que permita la identificación y clasificación de diferentes olores. Los sensores de olor registran señales diferentes ante muestras de olores diferentes. Es decir, que cada muestra de olor posee una huella olfativa.

La nariz electrónica diseñada es viable, y es posible utilizarla en diversas aplicaciones y también incorporarla en robots móviles.

Con los resultados obtenidos, y teniendo como referencia el trabajo realizado por [13] y [14], sería interesante investigar aplicaciones en que las señales obtenidas por una nariz electrónica ante muestras de olor provenientes de la orina o del sudor de un humano; puedan ser enviadas por Bluetooth a un dispositivo móvil y obtener de esta forma información médica relevante de pacientes.

También sería muy útil investigar la utilización de otros tipos de sensores de olor con el fin de ampliar el campo de aplicación de la nariz electrónica. Por ejemplo, utilizar sensores de olor del tipo bioquímico para aplicaciones específicas en la medicina. Así mismo, es necesario optimizar la señal que se utilizará para la clasificación de los olores, con

hardware y *software*, para facilitar la utilización de técnicas de reconocimiento de patrones.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación fue financiada con fondos de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) de la República de Panamá.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Electronic eNose Company. 2014. [Online]. Available: <http://www.enose.nl/contact/>. [Last login: june 13,2015].
- [7] F. Sinesio, C.K. Natale, G.B. Quaglia, F.M. Bucarrelli, Moneta E., A. Macagnano, R. Paolesse, A. D'Amico. "Use Electronic nose and trained sensory panel in the evaluation of tomato quality". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, n°80, pp. 63-71, 2000.
- [8] J.W. Gardner, P.N. Barlett. *Electronic Noses: Principles and Applications*. Oxford University Press, 1999.
- [9] Centre for Development of Advanced Computing Kolkata. "AgriElectronics". *Electronic Nose for evaluation of tea flavor*. 2005. http://cdac.in/index.aspx?id=pe_aee_agri_electronics. [Last login: june 14,2015].
- [10] C.M.A. Durán. "Design and optimization of the subsystems an electronic nose for food processing and industrial applications". *Universitat Rovira I Virgili*. 2005. [Last login: june 14,2015].
- [11] J. Lozano, T. Arroyo, J.P. Santos, J.M. Cabellos, M.C. Horriilo. "Electronic Nose for wine ageing detection". *Sensors and Actuators B: Chemical* 133, n°1, pp. 180-186, 2008.
- [12] H. Zhang, J. Wang, Y. Sheng, M. Chang. "Evaluation of peach quality indices using an electronic nose by MLR, QPST, and BP network". *Sensors and Actuators B: Chemical* 134, n°1, pp. 332-338, 2008.
- [13] H. Zhang, J. Wang, Y. Sheng. "Predictions of acidity, soluble solids and firmness of pear using electronic nose technique". *Journal of Food Engineering* 86, n°3, pp. 370-378, 2008.
- [14] L. Francisco, A. Forleo, A.M. Taurino, P. Siciliano, L. Lorenzelli, V. Adami, G. Agnusdei. "Linear temperature microhotplate gas sensor array for automotive cabin air quality monitoring". *Sensors and Actuators B: Chemical* 134, n°2, pp. 660-665, 2008.
- [15] S. Sadeghifard, M. Anjomsha, E. Esfandiari. "A new embedded E-nose system in smoke detection". *1ST International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)*, pp.18-21, 2011.
- [16] D.L.A. Fernandes, M.T.S.R. Gomes. "Development of an electronic nose to identify and quantify volatile hazardous compounds". *Talanta* 77, n°1, pp. 77-83, 2008.
- [17] S-W. Chiu, J-H. Wang, K-H. Chang, T-H. Chang, C. Wang, C-L. Chang, C-T. Tang, C-F. Chen, C-H. Shih, H-W. Kuo, I-C. Wang, H. Chen, C-C. Hsieh, M-F. Chang, J-M. Shyu, K-T. Tang. "A Fully Integrated Nose-on-a-Chip for Rapid Diagnosis of Ventilator Associated Pneumonia". *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*. Volume 8, Issue 6, pp. 765-778, 2014.
- [18] T.M.A. Sabeel, F.K. CheHarun, S.E. Eluwa, S.M.A. Sabeel. "Detection of volatile compounds in urine using an electronic nose instrument". *International Conference on Computing, Electrical and Electronics (ICCEEE)*, pp.1-4, 2013.
- [19] O. Olate, J. Chilo, J. Pelegri-Sebastia, K. Barbe, W. Van Moer. "Glucose detection in human sweat using an electronic nose". *35 th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 1462-1465, 2013.
- [20] L. Marques, A. Martins, A.T. of Almeida. "Environmental monitoring with mobile robots". *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3624-3629, 2005.
- [21] T. Pobkrut, T. Kerdcharoen. "Soil sensing survey robots based on electronic nose". *14 th International Conference on Control, Automation and Systems*, pp.1604-1609, 2014.

Plataforma Ubicua para la Gestión de Cuidados Paliativos en Panamá

Electronic Health Project

Juan Saldaña, Luis Mendoza, Miguel Vargas
 Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales
 Universidad Tecnológica de Panamá
 {juan.saldana,luis.mendoza1,miguel.vargas}@utp.ac.pa

Resumen-La atención a los pacientes de cuidados paliativos en Panamá es una necesidad primordial tanto para el enfermo como para sus familiares. Solo en el 2014 mas de 2600 pacientes fueron atendidos dentro del programa de cuidados paliativos. Aplicando ingeniería de *software* en el contexto de la salud electrónica, se ha analizado, modelado, desarrollado e implementado la primera plataforma de cuidados paliativos en la república de Panamá para el beneficio de pacientes en todo el país.

Palabras claves: *Software Engineering; Palliative Care; Ubiquitous Computing; eHealth; Mobile Health*

I. INTRODUCCIÓN

Panamá es un país en vías de desarrollo y por lo tanto su población de la tercera edad mayor a los 60 años va en aumento, ya que los avances de la medicina han logrado un incremento en su esperanza de vida, sin embargo también surgen más personas propensas a padecer de enfermedades avanzadas, implicando priorización en las atenciones al final de la vida. Es por esto que brindar un control de dolor en pacientes con enfermedad terminal toma más importancia día con día en el sector salud, ya que se hace una necesidad humanitaria no una obligación sanitaria.

Según datos del ministerio de salud en Panamá [1], mas de 2600 pacientes fueron atendidos por el programa de cuidados paliativos siendo estos en su mayoría del Instituto Oncológico Nacional, y de ellos 2 de cada 3 fueron pacientes del interior del país.

Estructurar un sistema capaz de llevar la gestión de los pacientes que reciben los cuidados paliativos en Panamá, es el punto primordial que se ha llevado a cabo en este proyecto, con el objetivo de ofrecer una herramienta funcional para los distintos profesionales que brindan estas atenciones tan necesarias para brindar una mejor calidad de vida al paciente y sus familiares.

El resto del documento esta organizado en las siguientes secciones: La sección 2 presenta los orígenes de los cuidados paliativos. Sección 3 presenta la situación actual de los cuidados paliativos en Panamá. Sección 4 presenta explica el concepto de ubicuidad. Sección 5 presenta el proceso de ingeniería para el desarrollo de la plataforma y por ultimo se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

II. ORIGEN DE LOS CUIDADOS PALIATIVOS

Desde inicios del siglo IV antes de Cristo en la Antigua Grecia no se trataba a los enfermos incurables, ya que se consideraba como un castigo divino, y si se llegase a tratar se desafiaría a los dioses. Posteriormente por medio de la propagación de la doctrina cristiana [2], se establece la necesidad de ayudar a enfermos que presentan una muerte cercana, dando origen a los primeros “hospicios u hospitales”, apareciendo primeramente en el territorio Bizantino, posteriormente en Roma y finalmente se esparce por toda Europa.

En el medievo, el término hospicio se utiliza para referirse al lugar donde los peregrinos y moribundos visitaban, en búsqueda de alojamiento y alimento. Generalmente estas personas se encontraban enfermos y fallecían debido a que la ciencia de esta época no era tan avanzada. Ya en el año 1842 Madame Jeanne Garnier utiliza el término hospicio para hacer referencia específicamente al cuidado de peregrinos con enfermedad avanzada [3], fundando los llamados Hospicios o Calvarios.

En el año 1967 la Dra. Cicely Saunders [4] dio inicio a su movimiento “Hospicio Moderno” [5], atribuido a la Fundación St. Christopher Hospice, movimiento que promueve el cuidado de los pacientes que presentan una patología avanzada, con el fin de proporcionar comodidad y dignidad, dando origen a lo que se conoce hoy en día como *Cuidados Paliativos*.

Cuidados Paliativos

Estudios realizados en el 2012 indican que el 8 % de la población mundial tiene más de 65 años y se estima que dentro de 20 años este porcentaje aumente al 20 % [6]. Este aumento de personas mayores se debe a los grandes avances que tiene hoy en día la medicina, ya que provee mejoras en el tratamiento de las distintas enfermedades infecciosas, así como otras innovaciones. Sin embargo este aumento de la esperanza de vida, acarrea enfermedades crónico-degenerativas o que ya se encuentren en fase terminal, lo cual generan en el paciente y en los familiares una condición terminal.

El cuidado de este tipo de condición hoy en día tiene mayor aceptación en el ámbito de la salud, ya que en la actualidad la medicina moderna vela por evitar que los pacientes sufran lo menos posible debido a los trastornos que se generan por la enfermedad terminal.

Se considera enfermedad terminal, cuando el paciente presenta una patología avanzada, progresiva e incurable, el cual no tiene reacción alguna a los tratamientos específicos, trayendo consigo múltiples síntomas, dolencias y agonía en el mismo provocando sufrimiento y un gran impacto emocional en el enfermo, familia y el equipo de cuidados. Asimismo este tipo de paciente presenta un pronóstico de vida inferior a seis meses.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1990 define los Cuidados Paliativos (CP) como: *“el cuidado total de los pacientes cuya enfermedad no responde ya al tratamiento. Tiene prioridad el control del dolor y de otros síntomas y problemas de orden psicológico, social y espiritual con el objetivo de proporcionar la mejor calidad de vida para los pacientes y sus familiares”* [7].

Posteriormente en 1998 la OMS añade los cuidados paliativos para los niños y las familias, ya que también aplica para los trastornos pediátricos crónicos [8], [9]. Finalmente en el 2002 la organización redefine los cuidados, acentuando la prevención del sufrimiento [10].

Cabe señalar que estos cuidados buscan una mejor calidad de vida para el paciente, lográndose a partir del control del dolor y de los síntomas provocados por la enfermedad amenazante, brindando un apoyo psicosocial y espiritual para los pacientes y sus prójimos.

Para poder brindar la mejor calidad de vida posible, los CP se basan en ciertos principios con el fin de ayudar al enfermo que padece de una enfermedad amenazante. Dentro de estos principios se puede mencionar [11]:

- Afirman la vida y consideran la muerte como un proceso natural.
- No intenta ni adelantar o retrasar la muerte.
- Integra los cuidados psicológicos y espirituales en el cuidado del enfermo.
- Ayudan a la familia a adaptarse a la enfermedad del paciente y en el proceso de duelo.
- Se exige trabajo en equipo.
- Busca una mejor calidad de vida.

III. CUIDADOS PALIATIVOS EN PANAMÁ

Panamá cuenta con una población de 34045813 habitantes según el censo del 2010. Tiene una densidad demográfica de 45.1hab/km² y el 10 % de la población es mayor de 60 años, y se estima que para el 2020 este incremente a un 12.4 % [12], lo que indica que este incremento implicará un gran impacto para el sector salud del país, trayendo consigo la necesidad de velar con mayor énfasis estas personas. Panamá gasta un 8.1 % del producto interno bruto en salud y un costo per capita de 1123 dolares.[13]

Los cuidados paliativos se viene brindando en Panamá desde hace más de 20 años, el cual ha evolucionado con el tiempo, ofreciendo una mejora continua en el cuidado de aquellas personas que presentan una enfermedad grave o que se encuentre ya en una fase terminal, con el fin de aliviar su sufrimiento y darle una vida más amena.

Estos cuidados se dan inicio con el surgimiento de la Asociación HOSPES Pro Cuidados Paliativos en 1992, siendo éste el primero en el país en ofrecer los cuidados en modalidad domiciliaria. Tres años más tarde en 1995, se crea bajo la coordinación de Mario Julio Grimaldo el Programa de Cuidados Paliativos y Alivio del Dolor dentro de las instalaciones del Instituto Oncológico Nacional (ION), permitiendo el mismo brindar las atenciones en modalidad ambulatoria y hospitalaria. Para el año 2003 surge la ley 68, el cual obliga a todas las instalaciones de salud del país a brindar los CP con los profesionales que tengan dentro de sus instalaciones. En los años 2006-2007 se comienza a brindar los CP en el interior del país, abarcando cada modalidad de atención. Finalmente el 21 de junio de 2010 bajo la resolución 499, se crea el Programa Nacional de Cuidados Paliativos de Panamá.

En el año 2010 se lograron atender alrededor de 1000 pacientes a través del Programa Nacional de Cuidados Paliativos. Éste número incremento en el 2011, atendiendo a 1975, y en el 2012 continuo en aumento hasta llegar a atender alrededor de 2967 pacientes [14], todos en su mayoría brindados en las instalaciones del ION, esto da a conocer la necesidad de mejorar el acceso a los CP y descentralizarlos, para que sean llevados de la mejor forma en todas las instalaciones sanitarias del país.

IV. UBICUIDAD

La ubicuidad es la cualidad de ubicuo, es decir de la omnipresencia, este hace referencia a la capacidad de tener presencia en todas partes, aptitud que sólo se le atribuye y reserva a Dios.

Mark Weiser describe en su trabajo *“The Computer for the Twenty-First Century”* [15] el impacto que tendría las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) en la vida cotidiana del ser humano, desarrollando a finales de la década del 80 un programa, al que denominó *Ubicom* (Computación Ubicua), donde éste es un modelo donde las capacidades de comunicación sobrepasan las pensadas en esa época, abriendo así la próxima generación de la computación con tecnología de información, el cual podría ser accedido a donde sea y cuando sea.

Weiser opinaba que la computación ubicua era opuesta a la realidad virtual, ya que la realidad virtual coloca a las personas en un mundo generado por ordenador, mientras que la computación ubicua coloca los ordenadores al servicio de las personas en el mundo real. Basándose en esto Weiser esperaba crear un entorno donde los dispositivos sin importar los tamaños y funcionalidades, se interconectarán y manejarán la

información, haciéndose más accesible y coherente a las actividades cotidianas que realizaba día con día las personas.

La computación ubicua tiene diversas áreas de investigación y de aplicación [16], siendo una de estas el campo de la salud, lo que da origen al término computación ubicua en el área de la salud o *pervasive healthcare*, el cual tiene como objetivo brindar al sector salud los servicios de la tecnología de la computación ubicua permitiendo el acceso a la información dentro y fuera de las instalaciones médicas.

El resultado de las tecnologías de la computación ubicua se ha hecho notorio en los últimos años con diversos proyectos, en base a las investigaciones realizadas. La telemonitorización, servicio ofrecido por la telemedicina, es el resultado de uno de estos proyectos, el cual permite a los especialistas realizar monitorización a distancia y en tiempo real, empleado para vigilar a personas mayores, pacientes con enfermedades crónicas o que reciben cuidados paliativos [17].

También existen sistemas creados bajo el enfoque de computación ubicua y permiten el manejo y control del historial clínica del paciente por medio de la computación ubicua, como es el caso del Sistema Ubicuo de Historia Clínica del Paciente (SUHCP) desarrollado y descrito en la tesis de Gricelda Rodríguez [18], el mismo permite manejar de forma automatizada, ordenada y estructurada el historial del paciente, con la capacidad de integrar el expediente del paciente aplicando la computación ubicua, permitiendo que la información registrada sea accesible en tiempo real en distintos lugares de la institución o diferentes dispositivos fuera de la misma.

V. INGENIERÍA DE LA PLATAFORMA DE CUIDADOS PALIATIVOS EN PANAMÁ

Para automatizar el proceso de atención de los cuidados paliativos, se desarrolló una plataforma que permite la gestión de los pacientes que reciben los cuidados paliativos en Panamá. De igual manera se crearon indicadores en base a la información registrada dentro de la plataforma. El desarrollo de la plataforma se llevo a cabo siguiendo los modelos de procesos de desarrollo de *software* presentados por Roger Pressman con sus 5 etapas principales [19]:

a. Análisis

En esta etapa se procedió a realizar una recopilación de todos los requerimientos que representan una necesidad para los CP, así como una representación gráfica luego de haber realizado un análisis de los requerimientos obtenidos. Para la recolección de los requerimientos se tomaron las técnicas de fuentes de investigación, ciertos documentos existentes, entrevista a profesionales y entrevista a usuarios finales, con el objetivo de desarrollar una plataforma lo más completo y óptimo posible. Unas de las principales fuentes de información fueron las constantes entrevistas con el personal

técnico y médico del equipo de cuidados paliativos y documentos como el estudio presentado por el Dr Gaspar Da Costa Foster en [13].

Luego de la recopilación de los requerimientos se procedió a un análisis minucioso de cada dato o información brindada, obteniendo dos clases de requerimientos, los funcionales y no funcionales. El primero se basa en las características que debe tener la plataforma para llevar a cabo cada una de sus tareas y el segundo se basa en aquellas características que restringen el desempeño y comportamiento del mismo.

En la Figura 1 se muestra el funcionamiento general del sistema por medio de los diagramas de casos de uso, los cuales permiten representar por medio de actores como estos interactuarán con cada uno de los procesos que realizará la plataforma.

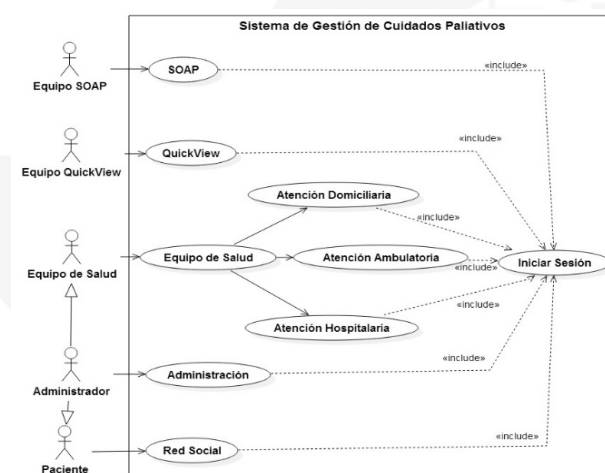


Figura 1. Diagrama de Caso de Uso General del Sistema de Gestión de Cuidados Paliativos.

Modalidades de Atención

Para mayor distribución al momento de ofrecer los CP, éste se divide en distintas modalidades de atención, con el único fin de abarcar cada sector que sea necesario en que el paciente deba recibir los cuidados. Estas modalidades son: la atención domiciliaria, ambulatoria y hospitalaria [20], a continuación se describirán cada una de las modalidades mencionadas.

o Atención Domiciliaria

Esta modalidad es de mayor importancia para los CP, ya que el paciente no estará dentro de una institución sanitaria, sino que se encontrará junto a sus seres queridos, el cual le permitirán vivir esta última etapa de la mejor manera posible, asimismo para los hospitales es de gran beneficio ya que se ahorran días-cama.

o Atención Ambulatoria

Esta modalidad presenta dos maneras de realizarse, en el primer caso si el paciente se siente con la capacidad de asistir a la institución para recibir cuidados lo puede hacer, ya que esto le da valor sobre sí mismo y le ayuda a llevar una vida mucho más "normal", para el segundo caso se da cuando

existe la presencia de una persona (familiar o allegado) que vele por las atenciones del enfermo, a esta persona se le conoce como cuidador principal [21], el mismo recibirá capacitaciones continuas sobre cómo debe brindar el debido cuidado al enfermo.

o Atención Hospitalaria

Esta última modalidad se da cuando ya el paciente no puede permanecer en su domicilio o el cuidador ya no tiene las capacidades profesionales para cuidar al enfermo, debido a que el paciente presenta un aumento en su sufrimiento causado por la enfermedad, requiriendo así de tratamientos más onerosos para aliviar cada síntoma y dolor que padece del enfermo.

Notas de Evolución

Para la medicina llevar un registro clínico de pacientes es de suma importancia, debido a que es aquí donde mantiene la constancia del estado actual del enfermo. En base a esto las notas de evolución son primordial al momento de llevar a cabo los CP, ya que mantienen de forma organizada la evolución que lleva el paciente con respecto a los distintos tratamientos que le suministra el equipo de especialistas a medida que avanza la enfermedad terminal. Este está dado en función de cada problema, organizándose en cuatro secciones, denominado SOAP (Subjective, Objective, Assessment, Plan en su acrónimo en inglés) [22], [23].

- o S (Subjetivo): Esta sección registra toda la información brindada por el enfermo, como los síntomas y dolores que presenta, entre otros. Asimismo se incluye las impresiones subjetivas del médico.
- o O (Objetivo): Esta sección se registran los signos del paciente, así como los distintos exámenes físicos o complementarios.
- o A (Análisis): Esta sección reúne toda la información registrada en las secciones mencionadas anteriormente, para realizar evaluaciones y definir el problema, su magnitud y evolución.
- o P (Plan): Esta sección se procede a modificar los planes que se tenían previamente, debido a los hallazgos que surgen de acuerdo a los datos obtenidos en las anteriores secciones.

b. Diseño

En la siguiente etapa se procedió a modelar la estructura de la base de datos para la plataforma de CP y el diseño de la estructura del sistema.

En la

Figura 2, se muestra el diagrama de clase general como una representación básica para el almacenamiento de todos los datos que necesita la plataforma.

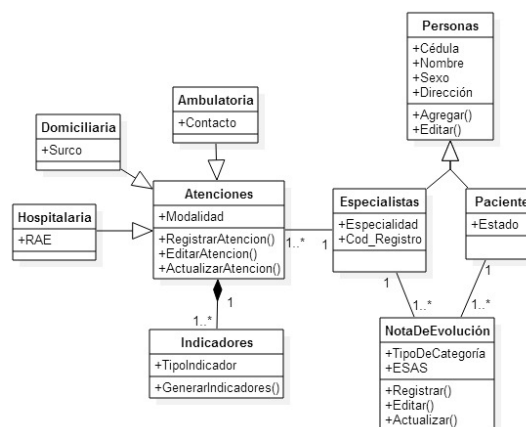


Figura 2. Diagrama de Clase General del Sistema de Gestión de Cuidados Paliativos.

Para llevar a cabo el diseño de la estructura del sistema se basó en la metodología del “Diseño Orientado a Metas (DOM)” de Allan Cooper [24], [25], la misma tiene como objetivo desarrollar la usabilidad del sistema basándonos en la interacción que los usuarios finales (personajes) tendrán con la plataforma, ya que estos “usuarios” son una representación de la vida real, y como tal presentan objetivos (metas), donde las tareas son un intermedio en un ambiente real (escenario) para lograr alcanzar las metas del usuario.

c. Desarrollo y Pruebas

En esta etapa se procedió al desarrollo de las características funcionales del sistema. Se utilizaron diferentes herramientas que permitieran construir de manera flexible y rápida la plataforma. A continuación se mencionarán las herramientas utilizadas: el lenguaje de programación PHP (PHP Hypertext Pre-processor en su acrónimo recursivo), MySQL como gestor de base de datos, HTML como lenguaje de estructura de datos, el Framework Bootstrap para la adaptabilidad del sistema a diferentes dispositivos y resoluciones como los *smartphones*, *tablets*, *computadoras*, entre otros y la librería JQuery de Javascript para el control de alertas y dinamismo en el manejo de la plataforma. Las pruebas se encuentran siendo realizadas por el grupo de desarrolladores en conjunto con médicos y especialistas en cuidados paliativos.

d. Implementación

La meta principal de este sistema es brindar un apoyo tecnológico a los distintos profesionales que ofrecen los cuidados paliativos en Panamá y lidian día a día con el sólo objetivo de brindar una atención de calidad a los pacientes que padecen de una enfermedad terminal.

Este sistema está instalado dentro de un servidor de la Universidad Tecnológica de Panamá, con el fin de ofrecer el soporte y servicio necesario a las instituciones de salud del país como se aprecia en la siguiente figura.

Gestión de Cuidados Paliativos Panamá

Figura 3. Pantalla de Login.

En la fase de implementación se busca alcanzar la máxima ubicuidad posible de manera tal que los especialistas de cuidados paliativos puedan utilizar una amplia gama de dispositivos móviles entre tablets y *Smartphones*. De esta manera se contará con el mayor número de dispositivos de acceso a la información posible.

En la actualidad el sistema se encuentra en fase de aprobación por el equipo de especialistas de cuidados paliativos, para que pueda ser llevado a las distintas instituciones y de esta manera automatizar los procesos que se llevan hasta la fecha.

VI. CONCLUSIONES

Los cuidados paliativos hoy en día, son una obligación dentro del campo de la salud, ya que es un derecho humano recibir los cuidados al final de la vida, con el objetivo de conseguir el máximo control del sufrimiento y una mejor calidad de vida tanto para el paciente como para los familiares.

Dado que en los cuidados paliativos se manejan un gran volumen de información, se hizo necesario desarrollar una plataforma que ofrezca la flexibilidad a los especialistas para registrar el historial clínico de los pacientes, así como el control de las distintas atenciones recibidas utilizando el enfoque de computación ubicua.

Con este proyecto se beneficiarán más de 2800 paciente por año, sin contar con el apoyo brindado a los familiares y a todo el personal técnico y médico que brindan los cuidados paliativos en Panamá.

Instituciones como el Instituto Oncológico Nacional (ION), el Ministerio de Salud (Minsa), Asociación HOSPES, la Asociación Nacional contra el Cáncer (ANEC) entre otras instituciones apoyan este proyecto y está siendo desarrollado por el Grupo de Investigación en Salud Electrónica y Supercomputación GISES-CIDITIC de la Universidad Tecnológica de Panamá.

REFERENCIAS

- [1] "MINSA inaugura taller de 'Cuidados Paliativos Básicos' dirigido a enfermeras," 2015. [Online]. Available: <http://www.minsa.gob.pa/noticia/minsa-inaugura-taller-de-cuidados-paliativos-basicos-dirigido-enfermeras>. [Accessed: 17-Oct-2015].
- [2] J. Goberna Tricas, "La Enfermedad a lo largo de la historia: Un punto de mira entre la biología y la simbología," *Index de Enfermería*, vol. 13, no. 47, 2004.

- [3] G. Montes, "Historia de los Cuidados Paliativos," vol. 7, pp. 1–9, 2006.
- [4] M. Cook, "Cicely Saunders, la mujer que transformó el cuidado de los moribundos," vol. 11, 2005.
- [5] N. Miličević, "The hospice movement: History and current worldwide situation," *Arch. Oncol.*, vol. 10, no. 1, pp. 29–31, 2002.
- [6] B. Valencia and M. Inés, "Revista Colombiana de Anestesiología Envejecimiento de la población: un reto para la salud pública," vol. 40, no. 69, pp. 192–194, 2012.
- [7] W. H. Organization, "Cancer pain relief: With a guide to opioid availability 2nd edition," *Cancer pain Reli.*, pp. 1–70, 1996.
- [8] WHO, "Cancer pain relief and palliative care in children," 1998.
- [9] A. M. Silvan Álvarez, "Cuidados paliativos en los niños con cáncer," *Cuad. Bioética*, vol. xx, no. 3, pp. 545–547, 2002.
- [10] WHO, *National Cancer Control Programmes: Policies and managerial guidelines*, 2nd ed. San Francisco, 2002.
- [11] OMS, "Cuidados Paliativos."
- [12] INEC Contraloría General de la República de Panamá, "Estimaciones y proyecciones de la población en la republica, provincia, comarca indígena por distrito, según sexo y edad; 2010-20."
- [13] C. Monti, T. Pastrana, L. DLima, R. Wenk, J. Rocafort, and C. Centeno, "Atlas de Cuidados Paliativos en Latinoamérica-Panamá ALCP," vol. 1ra Edición, 2012.
- [14] "Programa Nacional de Cuidados Paliativos," 2013.
- [15] M. Weiser, "The computer for the 21st Century," *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 1, no. 1, 2002.
- [16] E. S. Pomares, "Computación Ubicua: un gran desafío." p. 2.
- [17] J. Escayola, I. Martínez, L. Serrano, J. D. Trigo, S. Led, and J. García, "Propuesta de una Nueva Arquitectura de Software para uso del Estándar ISO/IEEE 11073 en Dispositivos Médicos de Limitada Capacidad de Procesado y Memoria," pp. 2–5, 2008.
- [18] G. Rodríguez Robledo, "Sistema Ubicuo de Historia Clínica del Paciente," Instituto Politécnico Nacional, 2006.
- [19] R. S. Pressman and R. S. Pressman, "Software engineering: A practitioner's approach R. S. Pressman McGraw-Hill, 1982, 352 pp, £25.25 ISBN 07-050781-3," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 5, no. 3, pp. 171–171, 1983.
- [20] S. Allende-pérez, E. Verástegui-avilés, and A. Mohar-betancourt, "Incorporación de los cuidados paliativos al Plan Nacional de Cáncer: consenso," vol. 12, no. 4, pp. 213–222, 2015.
- [21] G. Rodríguez and M. Ana, "El cuidador y el enfermo en el final de la vida -familia y/o persona significativa," *Enfermería Glob.*, pp. 1–9, 2010.
- [22] J. Muñoz, "El Registro Médico Orientado por Problemas," *Aanales la Fac. Med.*, vol. 59, no. 1, pp. 73–78, 1998.
- [23] I. Cuadro, "Historia Clínica Orientada a Problemas," *Hsb.Galeon.Com*, pp. 1–14, 2003.
- [24] A. Guersenzvaig, "El usuario arquetípico: Creación y uso de personajes en el diseño de productos interactivos," *Human-Computer Interact.*
- [25] M. Honduvilla, M. A. Bernabé Poveda, and M. T. Manrique Sancho, "La usabilidad de los geoportales: Aplicación del Diseño Orientado a Metas (DOM)," no. 1.

Caracterización en el manejo de los desechos computacionales en Instituciones Educativas públicas del municipio de Arauca-Colombia

Luis Hermes Mayorga, Nini Paola Duran
 Universidad Cooperativa de Colombia, Sede Arauca
 {luis.mayorga, nini.duran}@ucc.edu.co

Resumen-Se elaboró un estudio descriptivo sobre el manejo que se está dando a los desechos computacionales por los usuarios de computadores en unidades educativas públicas del municipio de Arauca, analizando la cantidad de dicha compubasura que se almacena, se reutiliza o se desecha, comprobando la tendencia que existe sobre el incremento y mal manejo de estos desechos en esta ciudad capital.

Palabras claves: *Compubasuras; reciclaje computacional; manejo de residuos tecnológicos.*

I. INTRODUCCIÓN

Nuestra sociedad de consumo incorpora y fomenta cada vez más, el uso de herramientas e instrumentos electrónicos, equipos mecatrónicos, robóticos, electromagnéticos y domóticos, que vinculan directamente el uso de computadores, con el fin de ofrecer incontables soluciones a la vida cotidiana[1][1][3][2]. Los desechos de basura computacional, que resultan hoy día, como consecuencia de su vida útil, de equipos en desuso, defectuosos o en mal estado, representan uno de los mayores riesgos para los seres humanos, y el ambiente en general[15][21][7][10].

Los residuos-e provenientes de equipos-TIC (residuos-TIC), correspondientes a la categoría 3 (equipos de informática y telecomunicaciones) de la Directiva Europea de RAEE. Boeni, Silva, OTT: son la principal fuente de residuos tecnológicos en la actualidad[16][8][6][4], significan simultáneamente un problema medioambiental emergente y una oportunidad comercial, dada el contenido de materiales tanto tóxicos (alrededor de 2 % del peso total) como valiosa.[12][2][1][8] Su reciclaje en América latina es prácticamente nula y en las cuándo se realiza por personal no calificado, con el objetivo de extraer metales preciosos como el oro; no cuenta con un adecuado procedimiento y manejo, en los subproductos (ej. los gases) que acompañan este proceso, lo cual acarrea consecuencias nefastas para el ambiente y enfermedades en la población[11][12][15][2][7]. El desconocimiento de nuevas formas y fuentes contaminantes en la era tecnológica, que inició desde hace ya unos 40 años [1][5][6][7], y es quizá el principal problema ecológico al que está condenado nuestro planeta, nuestro país y es una problemática que no es ajena al municipio de Arauca.

La firma Flurry Mobile ubicó a Colombia como el primer país en tendencia de crecimiento de equipos tecnológicos y equipos

inteligentes en Septiembre de 2014[12][11][8] esta tendencia es especialmente visible en el municipio de Arauca dada su ubicación en una región de frontera, en donde la comercialización y la adquisición de equipos de cómputo es mayor que la de otras regiones de Colombia como lo demuestran las cifras del Departamento Nacional de Estadística de Colombia (DANE 2014)[14] lo cual incrementa el riesgo que presenta este municipio teniendo en cuenta que el país se encuentra muy rezagado en el manejo de residuos tecnológicos.[11][12][10][9]

Es inevitable la producción y la utilización de computadores para nuestros quehaceres diarios, pero es deber, enfrentar los desafíos que nos propone la tecnología.[2] La nula o poca gestión que se hace en torno al tema motiva a que profesionales y personas que hacemos uso y nos involucramos cada vez más con estos componentes, presentemos con urgencia opciones y motivaciones para que se elaboren en nuestra región, planes y se mejoren normatividades y/o estándares de compra, uso y desuso de computadores[21][11][8][5]. No es suficiente en el país incluir manuales de buenas prácticas, sino de generar una política pública clara, sobre el tema y sobre todo en comunidades como niños y jóvenes, que conviven en estas instituciones[12][2][3]. No obstante las grandes campañas mundiales en cuidados del medio ambiente y de la salud humana adaptan políticas acomodadas orientadas a salvar recursos mediante la generación de actividades económicas, que a la vez son perjudiciales.[11][7][3]

Por estas razones, se propone la caracterización en el manejo de los desechos computacionales en las instituciones públicas del municipio de Arauca, determinando la existencia estos desechos y que método se utiliza en el manejo de éstos. Estas preguntas plantean un punto de partida para el adecuado manejo de este tipo de residuos bajo las condiciones y contexto del municipio de Arauca.

Metodología

Área de estudio: el desarrollo de este trabajo se llevó a cabo en las Instituciones Educativas públicas, enfocando la muestra en Colegios del área Urbana y rural del municipio de Arauca (Colombia). Este municipio se encuentra localizado en las coordenadas geográficas N 07° 05' 25" - W 70° 45' 42", sobre el margen sur del río que lleva el mismo nombre. Limita con la República Bolivariana de Venezuela al norte, conectada mediante el Puente Internacional José Antonio Páez por vía terrestre, y hacia el centro de Colombia mediante la Ruta de los Libertadores que une a Caracas y Bogotá, ciudades capitales.

[17]

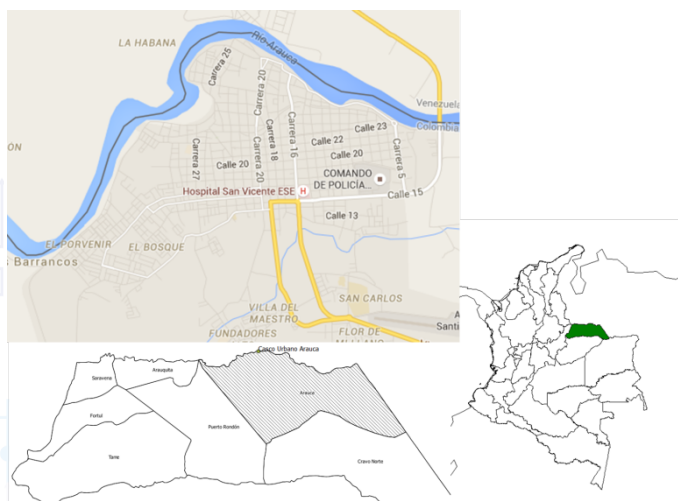


Figura 1. Ubicación permanente de la investigación.

Toma de muestras: el desarrollo de este trabajo se basó en dos fases, la primera es la fase de exploración en la cual se identificaron las instituciones públicas en las que se llevara a cabo el estudio, y la segunda fase que consiste en el análisis de la información producto de la toma de las muestras. Dado que se trata de la primera aproximación al manejo de los desechos informáticos en el municipio de Arauca, se aplicó una metodología descriptiva, que cual implica la recopilación y presentación sistemática de datos para dar una idea clara de una determinada situación. La investigación en éste método tiene como propósito describir situaciones y eventos.[11][3]

Fase de Exploración: se identificaron las instituciones de educación pública del municipio de Arauca que tienen equipos de cómputo usando como punto de partida la información solicitada a la alcaldía de Arauca. Una vez identificadas se diseñó un instrumento de medición que se desarrolló basados en la información proporcionada por la alcaldía y la visita a algunas de las instituciones dentro del área de estudio.

Para el desarrollo del instrumento de medición se tuvieron en cuenta aspectos como: los avances en la gestión de los residuos computacionales, a los entes municipales, territoriales y privados que están a cargo de la regulación de venta y comercialización, manejo residual, ambiental ó que participen en el tratamiento de estos desechos especiales.

Adicionalmente se solicitó a la secretaria de educación del municipio, información sobre la ubicación y contacto de cada unidad educativa y sus instituciones adscritas, así como la destinación o lugar de alojamiento de estos equipos, para determinar cuál es su uso final. Finalmente se revisaron diferentes encuestas hechas por el Departamento Nacional de estadísticas (DANE), sobre el uso y utilización de equipos de cómputo en el municipio ó en la región.

El procedimiento técnico de la toma de la muestra por institución, facilita otras variables estarían la íntimamente ligadas a la producción de desechos computacionales como: el uso de equipos informáticos, la frecuencia de uso, el año de adquisición de equipos, tasa de recambio de equipos, uso de equipos obsoletos y conocimiento del manejo de los residuos producidos por estos equipos entre otras.

II. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

Basados en el instrumento diseñado (medición) y la toma de datos, se determinarán las principales medidas de tendencia central mediante el uso del paquete estadístico SPSS V. que muestra el sondeo, la estadística y tendencias. Basados en los resultados se realizarán las representaciones graficas pertinentes.

Se estableció un total de 27 instituciones educativas (que incluyen escuelas y colegios) y cuatro CEARES. El instrumento de medición fue aplicado a 21 de estas instituciones y 3 CEARES se le realizo a 3. Es decir la muestra para la aplicación del instrumento fue del el 77,2 % de la población objetivo (Figura 2).

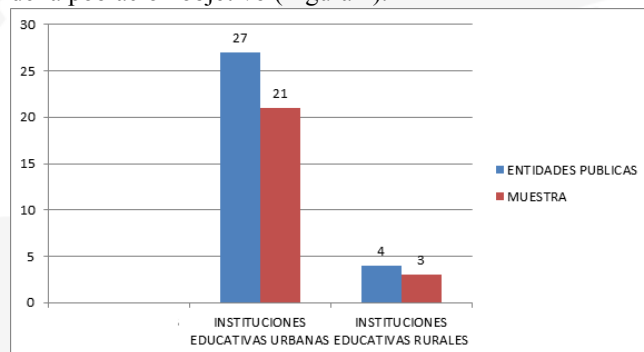


Figura 2. Representatividad de la muestra tomada en las instituciones educativas de la ciudad de Arauca.

El número de calculado de equipos de cómputo en uso actualmente en las instituciones educativas urbanas y rurales es de 3000, de acuerdo tanto con la medición como con resultado obtenido de en el proyecto: “Apoyo al proceso de depuración contable de los bienes muebles e inmuebles de propiedad del departamento de Arauca”.

El instrumento aplicado constó de 6 en la partes. La primera buscaba identificar los equipos en cada una de las instituciones, educativas, su tasa de renovación e identificación del destino de los desechos (figura 3), adicionalmente se logró establecer cuáles son los equipos que se reemplazan con mayor frecuencia (figura 4). Desde la segunda a la sexta parte se propone la identificación del proceso así: Segunda parte almacenamiento, tercera reúso, cuarta reciclado, quinta desechado y sexta remate

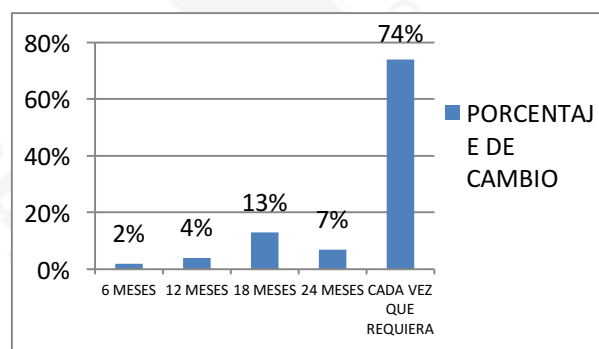


Figura 3. Tasa de recambio de equipos computacionales.

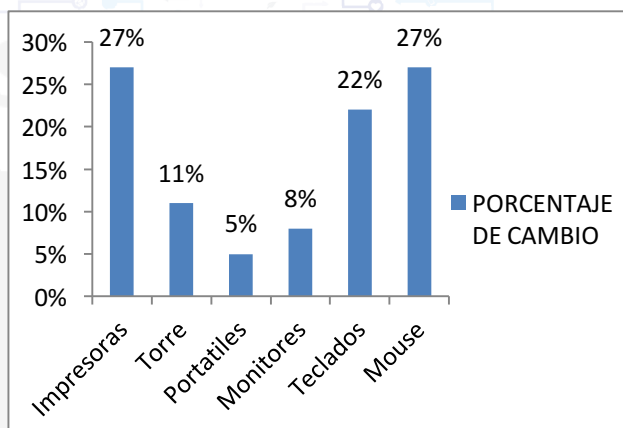


Figura 4. Frecuencia de cambio de equipos.

El almacenamiento de los equipos es el único destino contemplado por las instituciones encuestadas, sin embargo este almacenamiento presenta un destino doble como se observa en la figura 5.

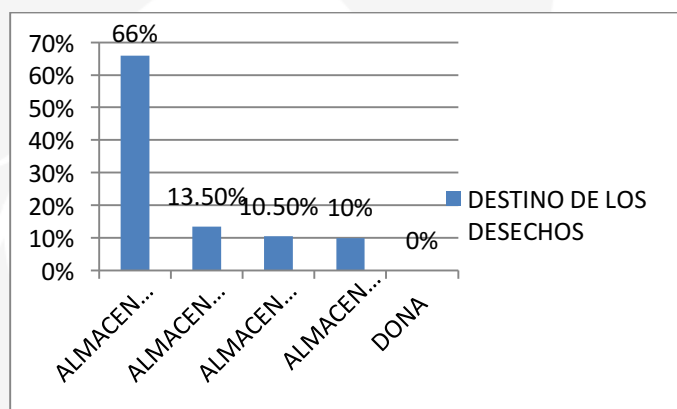


Figura 5. Destino de la compubasura.

En cuanto al tiempo aproximado que se tienen almacenados el intervalo de tiempo con mayor porcentaje es de 3 a 5 años con el 74 % seguidos por los intervalos de 0 a 1 año y 1 a 3 años con 13 % cada uno (figura 6).

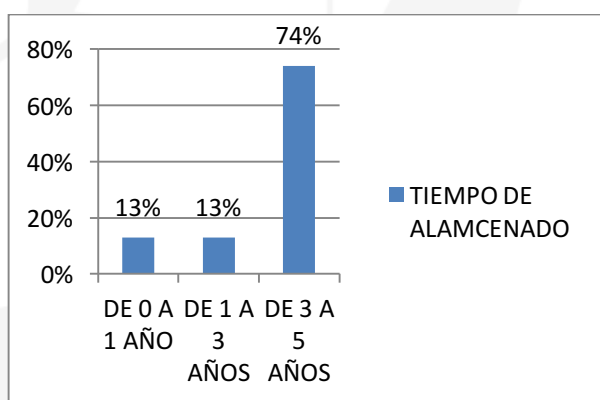


Figura 6. Tiempo aproximado de almacenamiento de residuos computacionales.

Adicionalmente se determinó que en el municipio de Arauca solo existen tres entes ó entidades que están vinculados en el manejo de todo tipo de desechos, pero que ninguno ha enfatizado en el tema de compu-basuras ó desechos computacionales, estos son EMSERPA E.S.P., Corporinoquía, y la cámara de Comercio de Arauca.

La Alcaldía y su oficina 36366 de servicios públicos EMSERPA (Empresa de servicios públicos de Arauca), no se ha firmado ninguna política pública sobre el tema. Además se pudo verificar que a ningún tipo de persona natural o jurídica, trabaja actualmente en la recolección de éste tipo de basuras, y que además quienes manipulan diariamente estos desechos no tienen ninguna capacitación frente al manejo de estos residuos.

Por otra parte, según se pudo constatar de acuerdo con los oficios devueltos por parte de la corporación autónoma regional (Corporinoquia) se describe que en el municipio, no existe ninguna entidad territorial identificada, para el tratamiento especial de dichos desechos.

Dentro de la indagación escrita dirigida a través del grupo de investigación en éste campo, también se indagó informalmente a la Cámara de Comercio de Arauca, único ente en la región que inscribe y regula la comercialización de éste tipo de equipos, además se preguntó si ha adelantado algún tipo de encuesta, sobre el tema en firmas o contratistas que hayan proveído al municipio de computadores en instituciones de educación pública y que pueden saber de su destino final al cumplir su vida útil.

III. DISCUSIÓN

A partir de la realización de este estudio debido al interés que ha suscitado este tema, desde el 2010 cuando se planteó el proyecto, la gobernación del Departamento de Arauca incluye en el plan de desarrollo 2012-2015, un ítem que pone atención en el tema del manejo de los residuos computacionales.

Por esta razón en el año 2014, se hace una recolección importante de estos desechos en las Instituciones, por parte de una firma contratista, sin embargo hasta este momento no existe ningún manejo procedimental sobre ellos.

Las impresoras y mouse son los equipos de mayor tasa de recambio, teniendo en cuenta que el tamaño de las impresoras es casi el mismo de una torre o un monitor y que su tasa de recambio es muy alta se deberían priorizar los esfuerzos para reciclar y reusar este tipo de equipos.

El 94,6 % de las instituciones no han recibido ningún tipo de capacitación en el manejo de los residuos, ni conoce ningún programa de reciclaje de equipos de cómputo, además el 76 % manifiesta que no conoce los peligros a que se puede estar expuesto por los computadores o por las partes que tiene almacenadas esto en cuanto al personal que diariamente tiene contacto con estos equipos ya que por exposiciones esporádicas y de pocos equipos no existe ningún riesgo, el 100 % de las empresas no han tenido casos de accidentes laborales con estos equipos almacenados ni conocen casos de personas que hayan tenido algún tipo de lesión por contacto o por inhalación de gases, metales u otros componentes derivados de los desechos computacionales

IV. CONCLUSIONES

En el municipio fuentes identificadas tienen total desconocimiento sobre el tema de los desechos computacionales, y que es preocupante, debido a que la población estudiantil se puede ver afectada por el mal manejo en estos residuos.

Es preocupante, identificar el desinterés que existe por parte de entidades públicas y territoriales sobre el manejo de los desechos computacionales y las consecuencias que pueden traer a las personas y al medio ambiente.

V. PERSPECTIVAS

Al finalizar, el análisis muestra un alto nivel de desechos computacionales en estas entidades, se promovió la creación de un banco de desechos computacionales, que permitirá hacer un buen manejo enfocado hacia el reciclaje y reutilización de éstos equipos no solo en las entidades descritas mediante este trabajo sino aumentando su ámbito a la comunidad araucana. Este Banco será liderado por el programa Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Arauca, a través del consultorio tecnológico.

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimientos a la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Arauca, al Ing. Robinson Barragán, quien nos colaboró como evaluador externo, al Ing. Alfonso Daza, como evaluador interno, al Dr Carlos Araujo, director de investigación de la sede, quien ejerció un papel importante en el re direccionamiento del proyecto para su desarrollo, y a la Ing. Yaneth Acero, Coordinadora del programa Ing. De Sistemas de la sede, facilitadora en trámites y autorización del proyecto. Finalmente a directivos y funcionarios de las entidades territoriales, Corporinoquia y municipales como Emserpa y la Cámara de Comercio del municipio de Arauca.

REFERENCIAS

- [1] Jirang Cui, Eric Forssberg. 2003. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials B99* 243–263
- [2] P.A. Wäger , R. Hischier, M. Eugster. 2011. Environmental impacts of the Swiss collection and recovery systems for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): A follow-up. *Science of the Total Environment* 409 1746–1756
- [3] Rolf Widmer, Heidi Oswald-Krapf , Deepali Sinha-Khetriwal, Max Schnellmann, HeinzBöni. 2005. Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review* 25 436– 458
- [4] Jae-chun Lee, Hyo Teak Song, Jae-Min Yoo. 2007. Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea. *Resources, Conservation and Recycling* 50 380–397
- [5] G.Q. Jin, W. D. Li, S. Wang, D.B. Tang. 2015. A Systematic End-of-Life Management Approach for
- [6] Waste Electrical and Electronic Equipment. *Proceedings of the 2015 IEEE 19th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*
- [7] Anyel Carolina Díaz Bohórquez. 2015. Propuesta De Política Pública Para La Gestión De Los Residuos Electrónicos Generados Por La Transición Hacia NGN En Colombia. Tesis de Maestría En Ingeniería Telecomunicaciones Universidad Nacional de Colombia.
- [8] Jenny Romero Montenegro. 2014. Colombia vs. la basura electrónica, un partido que va empatado. Tesis de grado. Universidad del Rosario.
- [9] Berenice Citalli Cárdenas Aragón, Jorge Rafael Figueroa Elenes, Eduardo René Fernández González. 2015. Método para la caracterización socio-económica de la generación de residuos electrónicos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 1: 6 133- 142
- [10] UNESCO Montevideo, Günther Cyranek, Consejero de Comunicación e Información para el MERCOSUR y Chile. 2010. Los residuos

electrónicos: Un desafío para la Sociedad del Conocimiento en América Latina y el Caribe. 261p.

- [11] Rubén Dario Cardenas Espinosa. 2009. La invisibilidad de la basura electrónica y su incidencia en el medio ambiente. *DELOS Desarrollo Local Sostenible Revista Desarrollo Local Sostenible*. Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global. 3, 9
- [12] <http://www.vanguardia.com/actualidad/colombia/280105-colombia-avanza-lento-en-el-manejo-de-residuos-electronicos>
- [13] [Ghttp://www.eco2site.com/trash/compubasura.asp](http://www.eco2site.com/trash/compubasura.asp) Dic. 2002.
- [14] http://www.dane.gov.co/revista_ib/html_r4/articulo2_r4.htm
- [15] http://www.dps.gov.co/documentos/3811_GUIA_AMBIENTAL_DE_B_UENAS_PRACTICAS.pdf
- [16] Boeni, Silva. OTT: Reciclaje de residuos electrónicos en América latina
- [17] [http://es.wikipedia.org/wiki/Arauca_\(Arauca\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Arauca_(Arauca))
- [18] (Zorrilla1996)
- [19] Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)
- [20] <http://ccarauca.org/?vercategoria=1&vernoticia=2&catid=23&categoria=Afiliados&diarias=0> Convocatoria Consejo Nacional de Investigación Ucc 201
- [21] <http://www.nomasbasura.org/2008/04/que-hacer-con-tus-computadoras-viejas/>

Laboratorios virtuales de física mediante el uso de herramientas disponibles en la Web

Jaime Malqui Cabrera Medina, Irlesa Indira Sánchez Medina
 Universidad Cooperativa de Colombia
 {jaime.cabrera, irlesa.sanchez}@campusucc.edu.co

Resumen-El presente artículo evidencia la importancia de un Laboratorio del virtual para apoyar procesos de enseñanza – aprendizaje en el curso de Física Mecánica mediado por herramientas disponibles en la Internet, para ello se toma como referencia el modelo para crear laboratorios virtuales, y el diagnóstico de laboratorios virtuales existentes, como parte de la fase de desarrollo del proyecto que está en curso. Es de resaltar que una de las bases para este proyecto es el Ova que se encuentra disponible en la página web www.fismec.com/ovas.

Palabras claves: Laboratorio del virtual; Entornos Virtuales de Aprendizaje; física mecánica; constructivismo.

I. INTRODUCCIÓN

El Laboratorio del virtual para apoyar procesos de enseñanza – aprendizaje en el curso de Física Mecánica mediado por herramientas disponibles en la web está desarrollado en un ambiente web con enfoque constructivista que simula una situación de aprendizaje propia del laboratorio tradicional. Los laboratorios virtuales se enmarcan en lo que se conoce como Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA) que permiten plantear escenarios que superan las limitaciones de tiempo y espacio que se tienen en el laboratorio tradicional y dan la oportunidad a cada estudiante de avanzar a su propio ritmo en el trabajo experimental, repitiendo cada práctica tantas veces como sea necesario. Además favorecen la comunicación entre pares para el aprendizaje cooperativo y la comunicación alumno-docente.

El laboratorio virtual de física mecánica está conformado por una serie de documentos de información teórica, videos explicativos de las prácticas a realizar y de manejo del simulador a utilizar, guías de laboratorio didácticas con enfoque constructivista mediadas por preguntas problematizadora que permitan el desarrollo de competencias científicas y apoyadas por simuladores existentes en la WEB, cada uno de los simuladores utilizados en las guías de laboratorio tendrá los créditos a los creadores del material, por ejemplo a los simuladores utilizados para recrear la realidad desarrollados en el proyecto Phet por la Universidad de Colorado, por una serie de ejercicios y/o problemas que le permiten al estudiantes preparar sus evaluaciones y un módulo de evaluación virtual. Los simuladores a utilizar son aquellos que han sido creados en diferentes partes del mundo por personas particulares o por entidades o por Departamentos específicos de universidades que están a la vanguardia en la incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC's en educación. Las simulaciones son películas en flash o Applet's u archivos HTML. Los Applet's o Physlet's o Fislet's son pequeñas aplicaciones escritas en lenguaje java que se insertan en un archivo HTML y son ejecutadas a través de un navegador que soporte java; las animaciones en flash ofrecen entornos realistas de las

situaciones simuladas y presentan las ventajas de los applet's. El objetivo de estos simuladores es facilitar la comprensión del fenómeno representado.

El proceso de selección de cada herramienta (applet o película flash) para este proyecto se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Simula un fenómeno físico objeto de estudio en el curso de física mecánica, que por razones diversas, no admiten la experimentación en el laboratorio presencial.
- Permite alta interactividad, dada por la representación dinámica de los fenómenos físicos, permitiendo la manipulación de diversos parámetros que afectan el objeto de estudio.
- Presencia de un entorno transparente que permita al usuario un completo control, o sea, un rápido acceso a las distintas opciones mediante una interfaz amigable.
- Permita al usuario ampliar sus conocimientos sin recurrir a otro objeto de aprendizaje.
- Diseñado con finalidad pedagógica.
- Tiene buena presentación visual.
- Acceso gratuito para fines educativos.
- Posibilidad de descarga para que el estudiante trabaje en modo Offline.
- Permite el aprendizaje significativo de manera autónomo y colaborativo.
- Permite el desarrollo de competencias científicas.
- Permite plantear escenarios que superen las limitaciones de tiempo, espacio y metodologías de enseñanza – aprendizaje que se tienen en el laboratorio tradicional.
- Dan la oportunidad a cada estudiante de avanzar y construir el conocimiento a su propio ritmo.
- Favorece la comunicación entre pares para el aprendizaje cooperativo y la comunicación alumno – profesor. (Educa, 2010).

Esta propuesta pedagógica plantea un entorno de aprendizaje altamente interactivo que involucra simulaciones de procesos y fenómenos que son objeto de estudio de la Física en la universidad, favoreciendo:

1. El proceso de enseñanza porque los profesores encuentran en él un recurso para complementar u apoyar las explicaciones en el aula así como colecciones de ejercicios y problemas que pueden proponer a sus alumnos o utilizar para preparar las pruebas escritas.
2. El aprendizaje porque los estudiantes pueden utilizar los applets como material complementario a su trabajo en el aula, con ellos pueden experimentar virtualmente para asimilar mejor los conceptos y comprobar los resultados de los ejercicios teóricos resueltos matemáticamente. Los apuntes y colecciones de ejercicios pueden ayudarles en el

estudio de la Física. Sin embargo, todo éste material requiere un esfuerzo de autoaprendizaje y autonomía en el estudio por parte del alumno al ubicarse como una actividad del trabajo independiente del estudiante.

La aplicación del laboratorio virtual se hará teniendo en cuenta la metodología interdisciplinaria centrada en equipos de aprendizaje MICEA (Velandia Mora, 2007) apoyada por el modelo de formación Blearning (Edgardo, 2011) o Bimodal.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Laboratorio Virtual es un sistema informático que pretende simular el ambiente de un laboratorio real y que mediante simulaciones interactivas permite desarrollar las prácticas de laboratorio. Ayudan al usuario a desarrollar este tipo de habilidad, (relacionada con el experimento), a distancia; ayudan en el tratamiento de conceptos básicos, observar, investigar, realizar actividades, así como también apoyan al estudiante en la elaboración e intercambio (intercambio de saberes) de resultados; asumiendo un importante rol en la educación a distancia ya que permite realizar las referidas prácticas de laboratorio desde cualquier ordenador fuera y dentro del recinto universitario sin necesidad de cumplir con un horario preestablecido. Los experimentos se realizan paso a paso, siguiendo un procedimiento similar al de un LT: se visualizan instrumentos y fenómenos mediante objetos dinámicos (applets de Java o Flash, cgi-bin, javascripts), imágenes o animaciones. Se obtienen resultados numéricos y gráficos, tratándose éstos matemáticamente para la obtención de los objetivos perseguidos en la planificación docente de las asignaturas. A continuación, destacamos algunas ventajas importantes de los LV (R., 2009).

- Acerca y facilita a un mayor número de alumnos la realización de experiencias, aunque alumno y laboratorio no coincidan en el espacio.
- El estudiante accede a los equipos del laboratorio a través de un navegador, pudiendo experimentar sin riesgo alguno, y, además, se flexibiliza el horario de prácticas y evita la saturación por el solapamiento con otras asignaturas.
- Reducen el coste del montaje y mantenimiento de los LT, siendo una alternativa barata y eficiente, donde el estudiante simula los fenómenos a estudiar como si los observase en el LT.
- una herramienta de autoaprendizaje, donde el alumno altera las variables de entrada, configura nuevos experimentos, aprende el manejo de instrumentos, personaliza el experimento, etc. La simulación en el LV, permite obtener una visión más intuitiva de aquellos fenómenos que en su realización manual no aportan suficiente claridad gráfica. El uso de LV da lugar a cambios fundamentales en el proceso habitual de enseñanza, en el que se suele comenzar por el modelo matemático. La simulación interactiva de forma aislada posee poco valor didáctico, ésta debe ser embebida dentro de un conjunto de elementos multimedia que guíen al alumno eficazmente en el proceso de aprendizaje. Se trata de utilizar la capacidad de procesamiento y cálculo del ordenador, incrementando la

diversidad didáctica, como complemento eficaz de las metodologías más convencionales.

- Los estudiantes aprenden mediante prueba y error, sin miedo a sufrir o provocar un accidente, sin avergonzarse de realizar varias veces la misma práctica, ya que pueden repetirlas sin límite; sin temor a dañar alguna herramienta o equipo. Pueden asistir al laboratorio cuando ellos quieran, y elegir las áreas del laboratorio más significativas para realizar prácticas sobre su trabajo.
- En Internet encontramos multitud de simulaciones de procesos físicos (en forma de applets de Java y/o Flash). Con estos objetos dinámicos, el docente puede preparar actividades de aprendizaje que los alumnos han de ejecutar, contestando al mismo tiempo las cuestiones que se les plantean.
- No todo son ventajas en los LV, también existen inconvenientes. A continuación mostramos los más destacados (R., 2009).
- El LV no puede sustituir la experiencia práctica altamente enriquecedora del LT. Ha de ser una herramienta complementaria para formar a la persona y obtener un mayor rendimiento.
- En el LV se corre el riesgo de que el alumno se comporte como un mero espectador. Es importante que las actividades en el LV, vengan acompañadas de un guion que explique el concepto a estudiar, así como las ecuaciones del modelo utilizado. Es necesario que el estudiante realice una actividad ordenada y progresiva, conducente a alcanzar objetivos básicos concretos.
- El alumno no utiliza elementos reales en el LV, lo que provoca una pérdida parcial de la visión de la realidad. Además, no siempre se dispone de la simulación adecuada para el tema que el profesor desea trabajar. En Internet existe demasiada información, a veces inútil. Para que sea útil en el proceso de enseñanza/aprendizaje, hemos de seleccionar los contenidos relevantes para nuestros alumnos. Son pocas las experiencias realizadas con LV en los centros educativos, donde aún impera el uso de recursos tradicionales, tanto en la exposición de conocimientos en el aula como en el laboratorio.

Existen varios autores que consideran ventajas adicionales a los activos intangibles que soportan la operación de los laboratorios virtuales como lo son la reusabilidad (posibilidad de usar varias veces), portabilidad (puede ser usada en distintas plataformas), modularidad (capacidad de ser usada por módulos), adaptabilidad y la durabilidad. (Bottentuit Junior & Clara, 2007). A principio de Marzo de 2010 se presentó el proyecto denominado Red de laboratorios virtuales y tele-operados de Colombia. El proyecto apunta a la creación de una RED que integra los laboratorios virtuales y tele-operados de Colombia, E-Lab Colombia, mediante una plataforma web accesible a través de una red nacional de colaboración científica y académica llamada RENATA la cual se concibió como una herramienta alternativa pedagógica e investigativa, donde los estudiantes pueden desarrollar las actividades prácticas en forma remota para el fomento de las destrezas y habilidades en el manejo de materiales y equipos relacionados con las temáticas de sus campos de formación, y a la vez, permitir el desarrollo de nuevas investigaciones científicas en el país que requirieran del uso de laboratorios especializados. Para el 23 de enero de 2013 se habla de e-LAB Colombia es el resultado del proyecto de investigación

“Red de Laboratorios Virtuales y Teleoperados de Colombia” cofinanciado por COLCIENCIAS y RENATA. (Red CLARA, 2014). Dentro del modelo propuesto para laboratorios virtuales de proponer entre las características de un programa de Ingeniería Informática que se oferta bajo modalidad 100 %, es que se soporta 100 % en las TIC, lo cual conlleva un reto bastante exigente para efectos de implementar un esquema coherente y con calidad en el tema de laboratorios. En la siguiente figura se visualiza la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto.



Figura 1. Modelo para el desarrollo de laboratorios virtuales.

En internet se encuentran varios portales web que ofrecen simuladores de libre uso en educación por ejemplo:

- o <https://phet.colorado.edu/es/simulations/category/physics> (Colorado, 2012)
- o <http://www.walter-fendt.de/ph14s/> (Fend, 2014)
- o <http://www.educaplus.org/index.php?mcid=2> (Educaplus, 2013)
- o <http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/> (Gonzalez, 2007)

La física mecánica estudia el movimiento de los cuerpos. Se divide en cinemática, estática y dinámica. La cinemática estudia el movimiento de los cuerpos sin considerar la causa que produce el movimiento. La dinámica estudia el movimiento de los cuerpos considerando la causa que estudia el movimiento. La estática estudia el equilibrio de los cuerpos. Cinemática se divide en movimiento unidimensional y bidimensional. En el primero se estudia el movimiento rectilíneo uniforme (MRU) y movimiento rectilíneo uniforme acelerado – Caída libre (MRUA). Aprendizaje. Para comprender qué es el estilo de aprendizaje de un estudiante se hace necesario comprender desde que teoría o modelo pedagógico se conceptualiza el correspondiente término. Se puede diferenciar desde varios planteamientos este concepto, por ejemplo: Para el conductismo, el aprendizaje es un cambio permanente en la conducta de una persona (Nogales, 2002). Desde la perspectiva del constructivismo (R. Gadné, 1971) en toda situación de aprendizaje hay presentes tres elementos, o grupos de elementos, claramente diferenciados: Los resultados del aprendizaje o contenidos (QUÉ se aprende), los procesos (CÓMO se aprende) y las condiciones de aprendizaje. Lo que ha de cumplir una actividad o una situación para que el aprendizaje se produzca (Zapata, 2005). Estilos de aprendizaje. Son los rasgos cognitivos, afectivos y fisiológicos, que sirven como indicadores relativamente estables, de cómo los aprendices perciben, interactúan y

responden a un ambiente de aprendizaje (Cuervo Villamil). El aprendizaje es el proceso a través del cual se adquieren o modifican habilidades, destrezas, conocimientos.

Los estilos de aprendizaje se caracterizan según la utilización más o menos frecuente de un conjunto de estrategias. Aunque parece ser que existen ciertas tendencias individuales al prescribir y utilizar determinadas estrategias, no resulta pertinente adjudicar de una vez por todas, el estilo de aprendizaje en un estudiante determinado. (Cabrera Medina, 2014)

De acuerdo con las últimas investigaciones, especialmente alrededor de las Inteligencias múltiples, del autor Howard Gardner (Gardner & howard, 1993), se puede colegir, que un mismo estudiante puede desarrollar y aplicar distintas inteligencias y con ellas las estrategias pertinentes en la solución de problemas. Así mismo puede inferirse desde los postulados de Kolb (Kold), una persona puede, desde estrategias provenientes de distintos estilos de aprendizaje, resolver tareas si se ve enfrentado a experiencias distintas.

Marco pedagógico y didáctico. El creciente uso de los medios electrónicos en la educación, particularmente las tecnologías derivadas de la Informática, han propiciado el desarrollo de una nueva visión acerca de los procesos de enseñanza - aprendizaje que a su vez concuerda con el creciente interés de pedagogos y psicólogos por ubicar al estudiante como el centro justificatorio de las propuestas pedagógicas, cambiando el rol tradicional del maestro por el de mediador o facilitador de los aprendizajes.

(Rodríguez Roselló, 1988) señala, refiriéndose a los ordenadores como medios didácticos, la singularidad de los contenidos que se pueden alcanzar con ellos y de las concepciones metodológicas subyacentes. Singularidad que fácilmente se puede referir también a las redes o a Internet: Capacidad de interacción, favorecedores de entornos de aprendizaje autónomo y de entornos abiertos. Y favorecedores de estrategias de exploración y descubrimiento.

El desarrollo de OVAS, los ambientes virtuales de aprendizaje, la implementación de plataformas virtuales, los Blogger, y las herramientas educativas que han dado paso a la formación de un nuevo modelos de educación basado en la virtualidad; dan paso a la formación de nuevos estilos de aprendizaje. Sin embargo, el solo aprendizaje de contenidos curriculares muy probablemente será una limitante en el proceso de crecimiento intelectual del estudiante, si no es soportado por otro tipo de habilidades.

La orientación de las actividades hacia la solución de problemas, o la formación en habilidades de estudio, estrategias de aprendizaje y el aprender a pensar críticamente - desde una perspectiva del aprendizaje a lo largo de la vida- no solamente es un complemento necesario para la formación integral del estudiante, sino que resulta determinante para avanzar hacia niveles superiores de conocimiento.

El constructivismo, el aprendizaje significativo y la educación a través de un Ambiente Virtual de Aprendizaje. El constructivismo en la educación contemporánea es tomado como la teoría predominante basada en la conceptualización de los procesos de enseñanza y aprendizaje. El enfoque constructivista lo componen varios modelos de aprendizaje, y establece que la mayor parte de lo que entiende y aprende el

estudiante es construido por él mismo y que el conocimiento del mundo se hace a través de representaciones que el mismo individuo reestructura para su comprensión (Esteban, 2006).

La comprensión de los conceptos y la manera de incentivar esto en los estudiantes juega un papel importante dentro la concepción constructivista. Howard Gardner (2000) cuestiona el currículo escolar porque “con seguridad hace que los estudiantes memoricen datos y definiciones” en lugar de potenciar la comprensión. Lo cual llevó a (Gardner H. , 1993) a la creación de la teoría de las inteligencias múltiples la cual se define como una aptitud de las personas para solucionar problemas o diseñar productos que son valorados dentro de una o más culturas, es decir, hace referencia a las habilidades útiles que tienen los estudiantes dependiendo de los ambientes culturales en el que se relacionen, por ejemplo, cuando un joven trabaja con su papá en labores de construcción, difícilmente desarrollará la habilidad de lectura, y por el contrario tendrá grandes capacidades para el trabajo manual y de fuerza.

Los aportes más significativos de las teorías constructivistas son el manifiesto que existe una mutua interestructuración entre el sujeto y el objeto de conocimiento. Podemos definir como el objeto de conocimiento a todos los contenidos del universo simbólico, saberes, los valores, habilidades sociales, motrices etc. La estructura interna cognoscitiva individual está constituida por una dimensión lógico-formal que se va construyendo progresivamente en el movimiento reflexivo y dialéctico entre maduración y experiencias. (Ausubel, 1998) y (Bruner 1999), enfatizan en otra dimensión en el proceso de desarrollo y de aprendizaje, el cual se relaciona con los contenidos de los diferentes conocimientos adquiridos por la comunicación social y específicamente por la enseñanza, a través de la instrucción se muestra el proceso de desarrollo y muy especialmente, de la dimensión lógico formal.

El aprendizaje significativo según ideas de (Ausubel & Novak, 2000) se define como un proceso a través del cual la tarea del aprendizaje está relacionada de manera sustancial con la estructura cognitiva de la persona que aprende, esto quiere decir, que los conocimientos previos que traen los estudiantes son de suma importancia para el aprendizaje de los conceptos, por tal motivo a través de los videos educativos y las simulaciones virtuales se podría estimular el auto aprendizaje en los estudiantes, aprovechando las experiencias previas que ellos viven cotidianamente en su entorno. De acuerdo con las afirmaciones de (Novak, 2000) el aprendizaje significativo subyace a la integración constructiva de pensamientos, sentimientos y acciones, (Moreira, 2003) lo que permite afirmar que la educación no puede darse en su totalidad dentro de un espacio cerrado en donde el estudiante se cohibe de expresar sus sentimientos y acciones libremente, es por tal motivo que los Ambientes Virtuales de Aprendizaje a través de la creación de foros de debate, comentarios y aplicaciones interactivas permiten al estudiante expresar sus ideas de manera espontánea desde diferentes espacios, indiferente del tiempo y sin presión del docente.

Lo que permite asegurar que la educación no puede darse dentro de una sola metodología (a través de la exposición discursiva, el marcador y tablero), sino por el contrario debe propiciar diversos espacios en los cuales los estudiantes

dependiendo de sus habilidades pueden comprender los conceptos y no se dediquen a la memorización de fórmulas, datos o definiciones. Es por tal motivo que el presente proyecto proporciona una alternativa para la enseñanza de la física a través de la diversidad, ya sea a través de aplicaciones virtuales o desde actividades presenciales; descartando la idea de una educación totalmente virtual o totalmente presencial.

III. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo explicativo – descriptivo porque existe una variable casual “el laboratorio virtual” y existe un efecto que es el aprendizaje significativo, autónomo y colaborativo de los conceptos fundamentales de física – rendimiento académico y la aceptación de la metodología de trabajo virtual, su diseño es cuasi experimental se trabajara con dos grupos de estudiantes uno experimental y otro de control del programa de ingeniería de sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Neiva, del curso de física mecánica.

Para la implementación del laboratorio virtual del curso física mecánica en ambiente Web mediados por herramientas virtuales interactivas, se harán las siguientes actividades: observación directa de profesores y estudiantes en clase de laboratorio presencial, aplicación de encuestas, a docentes y estudiantes, para conocer el grado de conocimiento y aplicación de las TIC's en su vida cotidiana. Una vez realizada la observación directa y la aplicación de las encuestas, se conocerá el alcance y las limitaciones que se pueden encontrar en el desarrollo del proyecto. Se abordaran las siguientes fases:

Fase 1. Búsqueda de simuladores en la web. Revisión de los simuladores que ofrecen los portales web de uso gratuito para fines educativos con alto contenido de interactividad que ofrezcan características para implementar aprendizajes de corte constructivistas.

Fase 2. Diseño y elaboración de documentos de contenido. Entre profesor de física y estudiantes de ingeniería de sistemas se diseñara un formato para los documentos de contenido escritos y/o videos, se utilizaran para elaborar el desarrollo de documentos teóricos, de procesamiento de datos experimentales, de interpretación de datos, de procesamiento de datos, de presentación de informes, de secuencia de videos (textos e imágenes) y manuales de uso de simuladores.

Fase 3. Revisión y rediseño de guías de laboratorio. El profesor de física hará una revisión bibliográfica de los manuales de guías de laboratorio existentes en la Universidad Cooperativa de Colombia para conocer las diferentes prácticas que se desarrollan en el curso de física mecánica que la universidad ofrece en los programas de ingeniería, con el fin de ajustar, mejorar y diseñar sus contenidos, se realizara un análisis de los manuales para desarrollar una guía de laboratorio comprensible y didáctica al estudiante de ingeniería con enfoque constructivista, acorde a su entorno que lo apunte hacia el ejercicio de su profesión.

Fase 4. Diseño y desarrollo de la página web. Entre profesor de física, el diseñador gráfico y el ingeniero de sistemas seleccionaran una plantilla acorde al proyecto ubicada a través

de la web (gratuita para no tener problemas de derechos de autor – Drupal o Joomla), y en ella se contendrán las herramientas tecnológicas (laboratorio virtual - simulador) interactivas que tanto docentes como estudiantes pueden trabajar como apoyo a su proceso de enseñanza – aprendizaje de las prácticas del laboratorio del curso física mecánica.

Herramientas interactivas que contiene:

- Guía de laboratorio en formato digital: con la búsqueda de simuladores realizada en la fase 1 y con el rediseño de las guías de laboratorio ya establecido en la fase 2, se procederá a digitalizar estos documentos aportando un diseño agradable y acorde al ambiente universitario (social, tecnológico, académico y cultural), que se pueda acceder desde Internet o desde cualquier dispositivo móvil con conexión o sin conexión a internet.
- Evaluación virtual: El profesor de física, el diseñador gráfico y el ingeniero de sistemas diseñaran e implementaran un formulario que contiene preguntas de selección múltiple con única respuesta y/o de pregunta abierta de la práctica a desarrollar en el laboratorio la cual el estudiante la podrá resolver antes de iniciar la práctica o después de terminar la práctica con el propósito de medir conocimientos de entrada o salida de la práctica, la calificación la hará el sistema y será enviada al docente.

Fase 5. Implementación página web - Aplicación y resultados. El ingeniero instalará en cualquier computador tenga o no tenga conexión a Internet el producto web. El profesor de física trabajar el producto web (laboratorio virtual) con un grupo de física mecánica (grupo experimental) y a la par otro grupo igual de física mecánica (grupo control) desarrollara los laboratorios de forma presencial con el propósito de comparar al final de semestre el desempeño académico, asistencia y motivación en la realización de las prácticas de laboratorio.

El grupo control trabajara con la metodología tradicional del docente mientras el grupo experimental trabajara con metodología MICEA virtual y hará uso del proyecto en todos sus aspectos. Finalizado el semestre se recolectaran los datos, se analizaran los resultados aplicando técnicas de la estadística descriptiva y la distribución “T” de Student, se elaboraran tablas, gráficas y se darán conclusiones y recomendaciones sobre la aplicación del proyecto.

Finalizado el proyecto se escribirá un artículo para publicar en revista indizada con el ánimo de divulgar a la comunidad académica regional, nacional y mundial los resultados de la investigación

IV. RESULTADOS

Fase 1. Búsqueda de simuladores en la web.

- Ubicación de simuladores virtuales en la web.
<https://phet.colorado.edu/es/simulations/category/physics>
<http://www.walter-fendt.de/ph14s/>
<http://www.educaplus.org/index.php?mcid=2>

Fase 2. Diseño y elaboración de documentos de contenido.

- Formato para la elaboración de documentos de contenido (teóricos, talleres, evaluación) y elaboración guion de videos.
- Tres documentos de contenido y Tres guiones de video.

Fase 3. Revisión y rediseño de guías de laboratorio.

- Revisión de los manuales de guías de laboratorio de física mecánica existentes en la Universidad Cooperativa de Colombia sede Neiva, reestructuración y producción de formato para prácticas de laboratorio mediadas por simuladores bajo enfoque constructivista. Tres guías de laboratorio elaboradas, selección de simuladores.

Fase 4. Diseño y desarrollo de la página web.

- Diseño en físico (papel) de la página web, mapa de navegación, enlaces, botones, pantallas. Revisión y elección de una de las plantillas de distribución gratuita que ofrece Drupal para desarrollar la parte ingenieril de la página o portal web donde se alojara el laboratorio virtual de física mecánica.

V. CONCLUSIONES

En la web se encuentran muchos simuladores que bien evaluados desde los objetivos didácticos y pedagógicos de profesores y estudiantes sirven para diseñar, desarrollar e implementar laboratorios virtuales que con enfoque constructivista se muestran como una herramienta con alto valor pedagógico para apoyar el proceso de enseñanza – aprendizaje de la física mecánica en el aula y fuera de ella.

El desarrollo de un laboratorio virtual altamente interactivo se convierte en una experiencia innovadora tanto para profesores como para estudiantes en el aula o fuera de ella, desarrollados en un ambiente web, motiva y emociona a los estudiantes de hoy (jóvenes tecnológicos dentro de una sociedad global del conocimiento) a la comprensión de fenómenos naturales que muchas veces no son tan fáciles de entender o comprender en el desarrollo de un laboratorio presencial y a los profesores les permite vincular las TIC al aula de clase de manera dinámica para diversificar su proceso docente y desarrollar habilidades en el manejo de herramientas tecnológicas.

La implementación de laboratorios virtuales en física mecánica fomenta en los estudiantes el aprendizaje auto-dirigido y el autoaprendizaje a través de las lecturas, uso de simuladores, realización de actividades de aprendizaje, prácticos de laboratorio virtual y presentación de evaluaciones en línea y promueve a los docentes a cambiar el paradigma de educación tradicional.

Los métodos de enseñanza virtual muestran buenos resultados en la medida en que existan estrategias apropiadas para este tipo de enseñanza. Los laboratorios virtuales brindan herramientas de aprendizaje que ayudan en muchos aspectos a la comprensión de los temas; por tanto, se sugiere continuar con la implementación de laboratorio virtuales para los otros cursos de física que ofrece la universidad en el programa de ingeniería, procurando seguir la misma metodología implementada en el desarrollo del laboratorio virtual para el curso de física mecánica.

REFERENCIAS

- [1] Annette Sanz Pardo, J. L. (2005). El uso de los laboratorios virtuales en la asignatura bioquímica como alternativa para la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación. Tecnología Química, 13.
- [2] 2013, R. C. (2014, 7 25). Red CLARA. Retrieved 11 25, 2014, from Red CLARA: <http://www.dspace.redclara.net/handle/10786/607>

- [3] Ausubel, D., & Novak, J. D. (2000). *Psicología educativa un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- [4] Belloni, M. C. (2003, 4 12). www.colos.inf.um.es. Retrieved 9 23, 2014, from www.colos.inf.um.es: http://colos.inf.um.es/disegrafsimula/Docs/Fislets_Paco_E.pdf
- [5] Bottentuit Junior, J. B., & Clara, C. (2007). Virtual Laboratories and M-Learning: Learnibg with mobile devices. *Proceedings of International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics*, (pp. 275 - 278).
- [6] Cabrera Medina, J. M. (2014). Un objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) para el Movimiento Armónico Simple (M.A.S.) y sus Aplicaciones. *Entornos*, 71 - 85.
- [7]
- [8] Cesar, D. (2004). *Academia de Matemáticas. Estilos y Estrategias de aprendizaje*. Bogotá: Escuela de Ingeniería en Computación y electrónica.
- [9] Colombia, U. C. (2012, 10 2). ucc.edu.co. Retrieved 10 3, 2014, from ucc.edu.co: <http://ucc.edu.co/prensa/2014/SiteAssets/Paginas/nuestro-mapa-de-navegacion-ya-esta-listo/Plan%20Estrat%C3%A9gico%20Nacional.pdf>
- [10] Colorado, U. (2012, 10 2). PhET.[colorado.edu](http://phet.colorado.edu). Retrieved 10 15, 2014, from PhET.[colorado.edu](http://phet.colorado.edu): <http://phet.colorado.edu/about/index.php>
- [11] Cook, J. (2002, 5 12). www.jime.open.ac.uk. Retrieved 10 8, 2014, from www.jime.open.ac.uk:
- [12] Cuervo Villamil, E. (n.d.). Documento de contenido. Documneto de contenido. Colombia: Sena.
- [13] Capuano, V. y. (2007, 12 4). www.caedi.org.ar. Retrieved 10 12, 2014, from www.caedi.org.ar: <http://www.caedi.org.ar/pcdi/Area%2011/11-355.PDF>
- [14] Chang, K.-E. (2007.). *Effects of learning support in simulation-based physics learning*. Taipei: National Taiwan Normal University.: Elsevier Science Ltd.
- [15] Edgardo, C. v. (2011). *B-Learning en busca de la Excelencia Educativa*. Tacna - Perú: Omega.
- [16] Esteban, B. N. (2006, 10 3). *Las Tic integradas en un modelo constructivista para la enseñanza de las ciencias (Tesis doctoral)*. Las Tic integradas en un modelo constructivista para la enseñanza de las ciencias (Tesis doctoral). Burgos, Burgos, España.
- [17] Fend, W. (2014, 10 19). [walter-fendt](http://www.walter-fendt.de). Retrieved 2 13, 2015, from [walter-fendt](http://www.walter-fendt.de): <http://www.walter-fendt.de/ph14s/>
- [18] Gonzalez. (2007, 8 9). web.educastur.princast.es. Retrieved 2 13, 2015, from web.educastur.princast.es: <http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/>
- [19] Gardner, H. (1993). *Estructuras de la mente: La teoría de las múltiples inteligencias*. Barcelona: Paidós.
- [20] Gardner, H., & howard. (1993). *Estructura de la mente: La teoría de las múltiples inteligencias*. Barcelona: Paidos.
- [21] Kold, D. (n.d.). virtual.unal.edu.co. Retrieved 1 15, 2015, from virtual.unal.edu.co: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2015702-1/u1/lecturas/TeoriadeKolb.pdf>
- [22] Moreira, M. (2003, 12 8). *Lenguaje y aprendizaje significativo. Lenguaje y aprendizaje significativo*. Belo Horizonte, Belo Horizonte, Brasil.
- [23] Nogales, S. F. (2002, 3 23). www.quadernsdigitals.net. Retrieved 10 23, 2015, from www.quadernsdigitals.net: http://www.quadernsdigitals.net/datos_web/biblioteca/1_1343/enLinea/1.htm
- [24] org, E. (n.d.). www.educaplus.org. Retrieved 2 10, 2015, from www.educaplus.org: <http://www.educaplus.org/index.php?mcid=2>
- [25] R., G. (1971). *Las condiciones del aprendizaje*. Madrid: Aguilar.
- [26] R., H. L. (2009, 11 16). <http://www.uv.es/ees>. Retrieved 10 24, 2014, from <http://www.uv.es/ees>: <http://www.uv.es/ees/archivo/286.pdf>
- [27] Rodriguez Roselló, L. (1988). *Logo y curriculum en: Tecnología y educación*. Madrid: Narcea.
- [28] Velandia Mora, M. A. (2007, Julio 10). <http://es.scribd.com/doc/109905498/Metodologia-Interdisciplinaria-Centrada-en-Equipos-de-Aprendizaje-MICEA-para-la-Educacion-Virtual>. Retrieved Noviembre 28, 2014, from <http://es.scribd.com/doc/109905498/Metodologia-Interdisciplinaria-Centrada-en-Equipos-de-Aprendizaje-MICEA-para-la-Educacion-Virtual>: <http://es.scribd.com/doc/109905498/Metodologia-Interdisciplinaria-Centrada-en-Equipos-de-Aprendizaje-MICEA-para-la-Educacion-Virtual>
- [29] Zapata, R. M. (2005). *Secuencias de contenidos y objetos de aprendizaje*. *Revista RED - Universitaria de Murcia*.

TCP/IP Communication for a De-Manufacturing Transport Line

David A. Amezcua Martinez
Mechatronics Engineering Student
Universidad Nacional de Colombia
Bogota
daamezquitam@unal.edu.co

Andrea Cataldo
Institute of Industrial Technologies
and Automation
Milan, Italy
andrea.cataldo@itia.cnr.it

Ricardo E. Ramírez Heredia
Associate Professor
Universidad Nacional de Colombia
Bogota, Colombia
reramirez@unal.edu.co

Resumen-Communication among machines in a production system is important as it provides synchronism and fluency in the manufacturing processes. Set out below is the development of the TCP/IP communication for a pallet transport line system intended to improve the working of the plant. This was carried out starting with the comprehension of the line and the machines in interaction, understanding the programs previously developed and setting up the TCP/IP functions in ISaGRAF. A human machine interface in Movicon was employed to supervise and test the line. The communication via TCP/IP was established, the protocol among servers and machines was correctly implemented and it was possible to supervise the whole process and carry out a real test using the human machine interface.

Palabras claves: de-manufacturing; HMI; TCP/IP; Functions of communication.

I. INTRODUCTION

In recent years, research around the productive sector has been oriented towards possible technologies to face the environmental contamination using de-manufacturing technologies. As a result, more economic benefits reducing costs, avoiding waste and minimizing pollution are seen in the short term. De-manufacturing means to recycle and disassemble obsolete electronics such as computers, printers, modems, memories, motherboards and telephones in order to reuse materials like glass, metal, wires, batteries and printed circuit boards materials.

A de-manufacturing transport line is characterized by a modular flexible structure based on transport modules which consist of moving pallets along different operating cells. The line consists of single modules connected to each other in order to move pallets among different operating stations. (Cataldo, Brusaferrri, 2013). The pallet has been designed to transport electronic boards that have to be tested, repaired or disassembled. The control *software* used in the development process of the line is based on the ISaGRAF environment. ISaGRAF is a *software* to develop, debug, execute and test the functions implemented in Sequential Functional Chart (SFC) language.

The aim of the transport line is to apply de-manufacturing in Printed Circuit Boards (PCB), carrying it by a pallet among different cells (Figure 1).

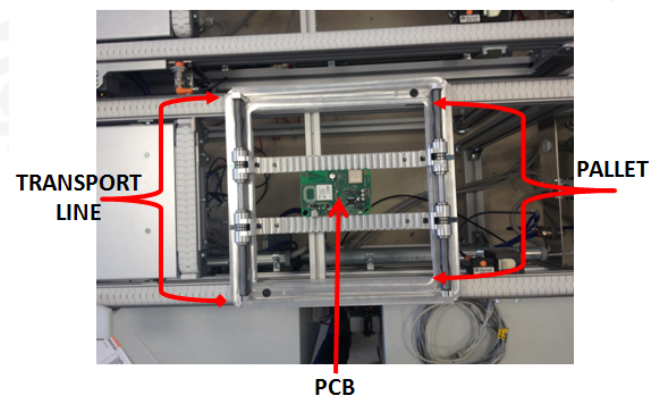


Figure 1. PCB on Pallet in the Transport Line System.

As shown in the Figure 2, the system has four different operating stations:

- M1 (Robot cell): two robotic arms load the pallets with the PCB and unload the pallets on the transport module (S1).
- M4 (SPEA machine): the device tests the PCB identifying whether it can be repaired or it must be carried away. Part of the communication process includes sending a damage report to the ZEVAC machine where the type of failure is identified.
- M6 (ZEVAC machine): it repairs the PCB unsoldering the damaged components and soldering new ones.
- S2 (Discharge Board): PCBs that cannot be repaired must be unloaded in this cell to be carried to the recycle cell (M3).

Figure 3 presents the flow chart of the general process. First of all, the PCB joins the system through a coordinate movement between the two robotic arms to load the PCB into the pallet.

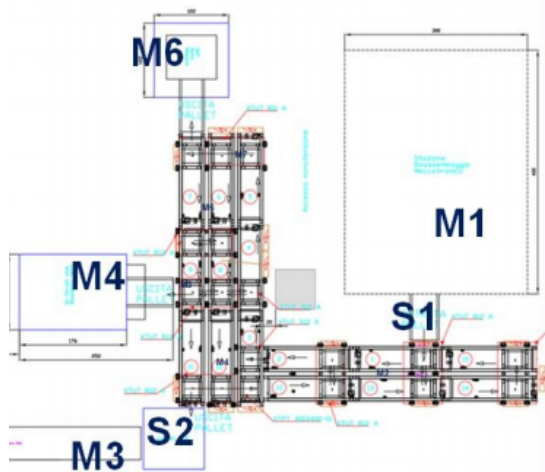


Figure 2. Top View of the Transport Line System.

The first station of the pallet is the machine SPEA, where the PCB is tested in order to know its state. If the PCB is in bad condition and is not possible to fix, the PCB will be taken to the discharge cell. But if the PCB is in bad condition and is repairable, it will be taken to the ZEVAC machine. Then, the PCB will be carried to the SPEA again in a cyclical way. If the PCB is repaired, it will be carried to the robot cell and taken out of the line.

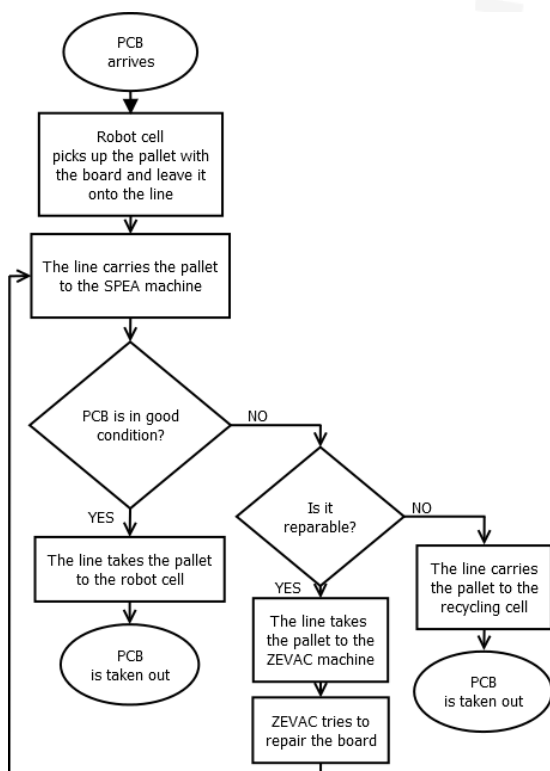


Figure 3. Flow Chart of the general process.

The de-manufacturing transport line has a monitoring station that is able to control all the remote inputs and outputs (I/O) modules through a PC. By contacting an established IP address the browser screens the transport module automation devices, displaying the status of I/O signals. A better supervision of the devices, the I/O signals and the modules is possible by the use of a human machine interface (HMI). A HMI system supervises the production, displays the execution of the plant processes, and allows the data saving. The HMI

for the plant is implemented in Movicon with the main features.

Given a control platform for the mentioned industrial transport line, the purpose of this work was to develop the data communication functions via TCP/IP among the control system and the machines on board. The communication was implemented using the ISaGRAF software with the established protocols and the socket-server synchronism. Besides, a HMI was developed in Movicon in order to monitor the plant and to test the work done.

This paper is organized as follows: section II shows the implementation of the communication via TCP/IP; section III presents the development of the HMI for the plant; in section V the results are displayed; and section VI shows the conclusions and further research on the field.

II. COMMUNICATION VIA TCP/IP

Given a control platform for a de-manufacturing transport line, it was necessary to communicate via TCP/IP the general system, the servers and the machines. The synchronism of the process variables provides data exchange among the transport line, supervision and the machines in order to guarantee the correct operation.

The Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) was created by the Department of Defense to ensure and preserve data integrity, as well as maintain communications in the event of catastrophic war [5]. TCP/IP enables the computers to communicate over a network. Its model describes the data format, i.e., how the data should be transmitted, addressed, routed and received.

A. General Overview of the ISaGRAF Project

ISaGRAF is a distributed, scalable architecture which comprises both a *hardware controller* and a *software environment* [3]. ISaGRAF allows the control and updates in a system from a single workstation, where it is possible to run several projects. Figure 4 shows the deployment view of the general project in ISaGRAF.

There are three main modules: Module Line Supervisor, Submodules 1 to 8, and Submodules 9 to 15. Submodules 1 to 8 and Submodules 9 to 15 have all the programs and sequences of each single module of the line. Each module has all the functions that make the movements possible and the variables of the sensors and actuators. The Module Line Supervisor has the sequences to be activated in order to start the secondary actions.

The control of the de-manufacturing line has been developed using the Sequential Functional Chart (SFC) language. SFC is a graphical programming language oriented to systems where the variations of the state belong to the particular situations.

1) Development of a target in ISaGRAF

To develop the communication among the machines and the transport line system it is necessary to build and fix some details. The data must be integer and real to read the sensors and write in the variables of the actuators.

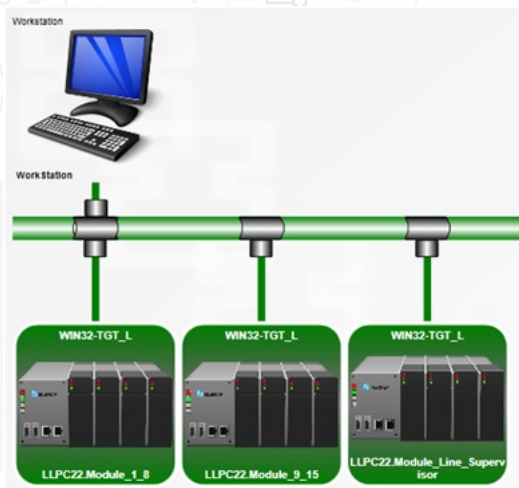


Figure 4. Deployment View of the ISaGRAF Project.

The Target Definition Builder allows the integrator to build the description of an add-on for ISaGRAF [4]. It describes: C functions, function blocks, I/O devices, complex data types, network drivers and targets. It is necessary to build a target, in order to implement the functions with their characteristics. The functions and the required parameters are saved in the target. In fact, using a target allows the portability between operating systems and program’s versions, e.g. during the development of the functions a new ISaGRAF version was released and it was very useful to have a target in order to save time and avoid coming errors. Using the TDBuild tool, the target was created and modified. It is important to set up the main definitions such as the function blocks, the read and write functions (integer and real), the simple devices (Client FMC and Client RID) and the type of networks (ETCP, HSD and ISARSI).

2) Read and Write Functions

The functions and parameters for the functions read and write integer must be added to the file. At Table 1 is presented the parameters to establish the functions. A certain file of ISaGRAF was opened with the TDBuild and the parameters for the functions read and write were placed and implemented in the software.

Table 1. Function Parameters.

Parameters	Read_file_int	Write_file_int
Row_column (Input)	Read mode (0: row, 1: column)	Write mode (0: row, 1: column)
Index (Input)	Number of the file to be read (0:t token, 1: data)	File number to be write (0: token, 1: data)
First_r (Input)	Reading number (1: first read, 0:other read)	-
Open_mode (Input)	-	Write mode in the file (0: append, 1:overwrite)
Data (Input)	-	Data to be write
N_read (Local data)	Number of before readings to know which data must be read (N read: 3 indicate to read the fourth data from the file)	-
Store (Output)	Content read from the file	-

B. Communication Protocols

The functions were developed to communicate over a network a program executed from a computer (server), a PLC program and the machines. The advantage of the TCP/IP is the possibility to establish the communication among devices programmed with different technologies.

It is important to respect the communication protocol between devices, i.e., the messages must come in a prefixed order. The communication TCP/IP has three steps:

1. Connection: The server is always waiting the connection by the client (PLC). It’s necessary to define a communication port and the machines (servers) must be identified by a unique IP address.
2. Data exchange: It started when the connection has been established.
3. Disconnection: The client asks the disconnection to the server or the server disconnects it.

1) Socket-Client in ISaGRAF to communicate machines

A new data type for the IP address and two new functions for the client and the server were added in TDBuild to the target developed before. Once the Target is completed, it was implemented in the main project in ISaGRAF.

There are two socket-clients to be implemented: one for the ZEVAC and one for the Robot Cell. Each one has the main parameters to establish the communication: start and stop client, the port, the functions to send and receive messages and the acknowledgment messages. The sockets in ISaGRAF are displayed in Figure 5.

For ZEVAC, SPEA and Robot cell, it was developed a program in ISaGRAF to control the communication and messages between the server and the client. Using a socket-client is possible to send and receive messages setting agreed protocols.

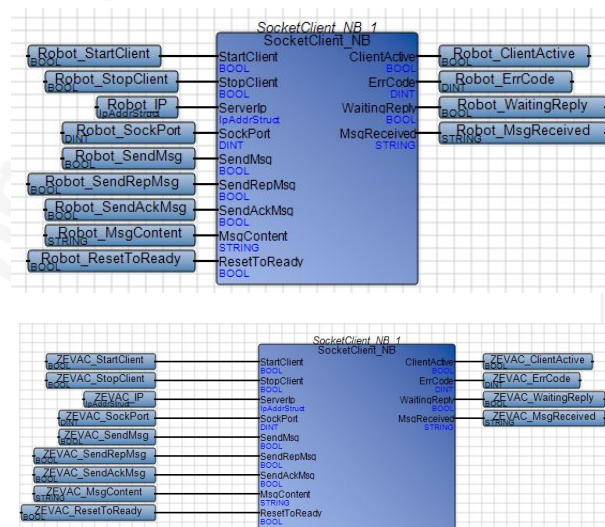


Figure 5. Sockets in ISaGRAF.

2) Communication with ZEVAC machine

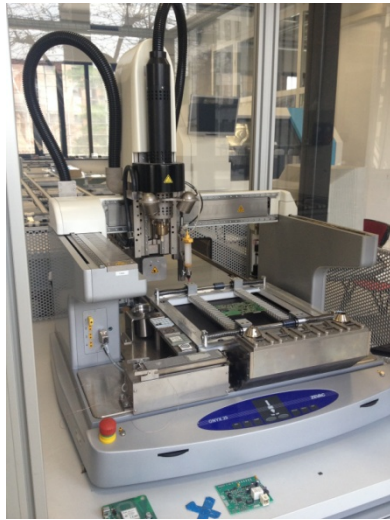


Figure 6. ZEVAC Machine.

The communication with the ZEVAC machine uses the default VisualMachines TCP commands found in the user manual of the device [7]. According to the reference manual, there are three mainly commands to establish the interchanging of data:

- o Load Board: loads a board waiting at the input conveyor buffer.
- o Unload Board: unloads the loaded board.
- o Get State: the state response is a bit field of type unit. Bit 1 indicates a board is loaded, bit 2 indicates machine is busy.

The commands and their responses are presented in Table 2.

Table 2. ZEVAC Commands.

Commands	Response OK	Response NOK
CMD: LoadBoard	LoadBoard succeeded; Board loaded without error. LoadBoard succeeded; Board was already loaded.	LoadBoard failed; TB BoardSensor Timeout
CMD: UnloadBoard	UnloadBoard succeeded; Board unloaded. UnloadBoard succeeded; no board available.	UnloadBoard failed.
CMD: GetState	0: Free machine 1: Board Loaded 2: Busy	

It is important to keep the link while the process is running. The connection is used to send process progress information without any acknowledge of the server machine.

3) Communication with the Robot Cell

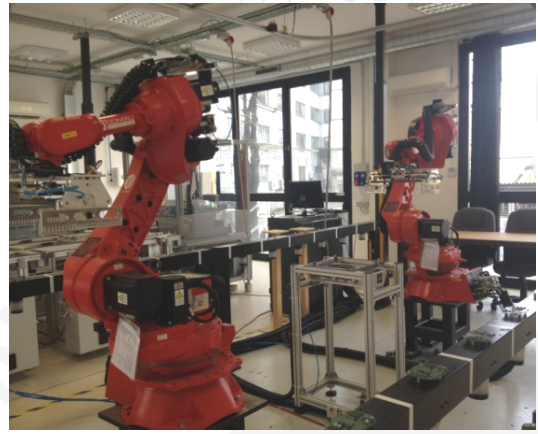


Figure 7. Robotic Arms Cell.

The TCP/IP communication with the robot cell was similar as the ZEVAC. There were set up some messages with the group of people in charge of the control and working of the cell. At Figure 8 is reported the order of the messages and commands that were agreed on.

The pallet ID (XXXX#) represents the typology of the Electronic Board loaded onto the pallet. For example, 0000# means pallet empty.

Robot Cell	Line
Request to load an electronic board on an empty pallet	← PALLET_FULL_XXXX#
STARTING_UNLOAD#	⇒
Request to download an electronic board from a full pallet	← PALLET_EMPTY#
STARTING_LOAD#	⇒
XXXX#	← GET_PALLET_ID#
XXXX#	⇒
OK# / ERROR#	← GET_STATUS#
OK# / KO#	⇒
OK# / KO#	← WAIT#
OK# / KO#	⇒
OK# / KO#	← RESTART#

Figure 8. Protocol between the Robot Cell and the Server.

4) Communication with the SPEA Machine

The communication with the SPEA is by wired electrical signals. After the board is tested in the SPEA, each board will have a type of failure given by the machine.

At table 3, it is presented the type of failure protocol decided. Depend on the failure, the SPEA will send the pallet with the PCB to the robot cell or ZEVAC or to the discharge board cell.



Figure 9. SPEA 4060 Machine.

III. HMI FOR THE SYSTEM WITH MOVICON

Movicon® is very flexible and offers a complete and powerful set of features that can be deployed in embedded HMI WinCE-based systems right through to the most modern SCADA platforms based on Windows 7/8 and servers [8].

Table 3. Failure Type From SPEA.

FAILURE TYPE	DESTINATION
Failure=0	Robot Cell
Failure = 1 to 50	ZEVAC
Failure = 51 to 99	Discharge Board Cell

In order to have a better control of the system it is necessary to implement an interface in which the user has the overview of the plant. Movicon® is useful because it works for large SCADA servers and for small HMIs. In addition to these features, Movicon® is suitable with ISaGRAF and has a free version downloadable in internet.

As it shows in the Figure 10, the developed platform gives a general panel where it is possible to know the state of the variables. Additionally, there are shown some useful commands like Start Line Supervisor, Stop Line Supervisor and Find Pallet Free and the messages between the client and servers.

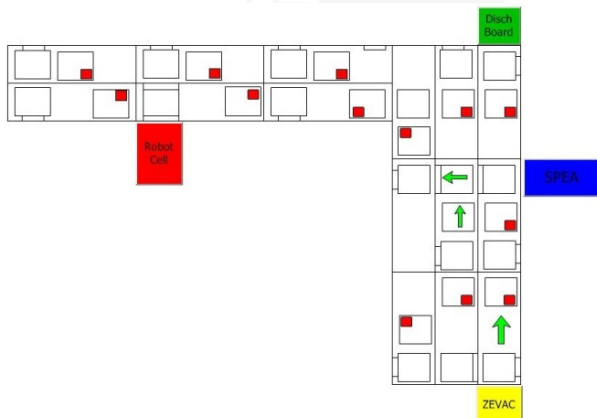


Figure 10. General view of the HMI developed in Movicon.

Similarly, it is developing an interface for a simple pallet where is feasible the access to manipulate the actuators and sensors in each module. Figure 11 displays the Module 8 with

the buttons to actuate the valves and motors. The user can see the states of the sensors, actuators and the directions of the belts in order to know where the pallet is.

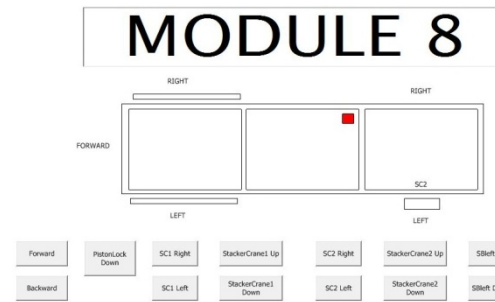


Figure 11. Interface for a single module.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

As a result, the communication via TCP/IP was established. The protocol among servers and machines was correctly implemented and the use of the socket-client method saved time in the development of the functions.

There were some mechanical problems. Sometimes the pallet was blocked by delays in the upping and downing of the actuators in the modules. Also, there were delays because the sensors cannot read the presences of the pallets. It was possible to supervise and show real tests using the human machine interface that proved good implementation. Following the process in the interface, it can be taken preventive actions such as stop the line or taking decisions in case of obstacles in the pallet traffic.

V. CONCLUSIONS

The functions to communicate via TCP/IP the general system, the servers and the machines were correctly implemented. The synchronism in the process allowed the good working of the plant. It could be said that the TCP/IP communication is a very good way of communication but due to the short time to understand the operation of the machines, the messages among servers and machines were the basics.

There are some PLCs (*Programmable Logic Controller*) in the laboratory that could be used in order to have a faster communication. A PLC is likely programmed due to its programming language and for that reason is easier to implement different control functions. A longer work of each part of the team could help to make the integration faster. Future researches need to have enough time to organize a plan in order to test and integrate the whole system.

REFERENCES

- [1] Cataldo Andrea, Brusaferrri Alessandro, "Gecko Hw and Sw control architecture and functional specifications", GECKO Technical Report, ITIA-CNR, 2013, p. 3-40.
- [2] Information system resources, "Demufacturing Whitepaper", 2011.
- [3] Rockwell Automation, "ICS Triplex AADvance".
- [4] ICS Triplex ISaGRAF Inc., "Target Definition Builder", 2003.
- [5] Copyright © 2000 SYBEX, TCP/IP, www.sybex.com.
- [6] INFOTECH Automation, "User Guide", Infotech AG.
- [7] Brusaferrri, Alessandro. "socketclient.c"
- [8] Progea, "SCADA/HMI Platforms", Industrial Automation Software, 2013.

La inclusión por la salud en estudios de las antenas de telefonía móvil

Geyni Arias Vargas
Corporación Universitaria del Huila Corhuila
geyni.arias@corhuila.edu.co

Irlesa I. Sánchez Medina, Jaime Malqui Cabrera
Universidad Cooperativa de Colombia
{irlesa.sanchez, jaime.malqui}@campusucc.edu.com

Resumen-El presente artículo tiene como objetivo tratar el tema de las estaciones de telecomunicaciones o las antenas de telefonía móvil como elemento primordial para la gestión, desarrollo y avance de las tendencias modernas del sistema de comunicación. Como complemento se abordarán los efectos de las radiaciones no ionizantes que emiten esta clase de infraestructuras y las medidas preventivas como controles para prevenir los riesgos actuales y potenciales en toda la población expuesta. Es de resaltar que una de las bases para este artículo se fundamenta en la revisión de estándares y normativas referentes a las instalaciones adecuadas de dispositivos o estaciones de telefonía móvil.

Palabras claves: tic; efectos; radiaciones; antenas; telecomunicaciones.

I. INTRODUCCIÓN

La comunicación siempre ha sido parte primordial en el desarrollo de la humanidad, gracias a los avances tecnológicos ya se puede comunicar de diferentes formas de manera casi instantánea, estos avances dejan consigo consecuencias, ya sean buenas o malas. Debido al aumento acelerado en la presencia de antenas de telefonía móvil en todo el mundo, han generado gran preocupación en la población por los efectos o consecuencias a nivel de contaminación no solo ambiental sino afectación a la salud de las personas.

Teniendo en cuenta un proyecto local desarrollado en la ciudad de Neiva - Huila, en Colombia, en los últimos años, debido al alto crecimiento poblacional y empresarial se ha observado un aumento notable en la instalación de estaciones de telefonía móvil a tal punto que no se están cumpliendo con directrices y normativas reguladas para tal fin.

Actualmente surgen interrogantes acerca de las complicaciones que pueden generar en la salud de las personas que habitan en el perímetro urbano en el cual se encuentran instaladas las estaciones de telefonía móvil que aunque se tienen normativas locales para su instalación, en su totalidad no se cumplen con los requerimientos y requisitos establecidos. Finalmente es importante resaltar que aunque no existan evidencias científicas acerca de la relación que existe entre la exposición a este tipo de radiaciones y las estadísticas sobre efectos o enfermedades causadas por estos factores se continuará investigando a cerca de estos interrogantes y vacíos existentes sobre este aspecto.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Ingeniero de inclusión: es el que adquiere la cultura de utilizar la ciencia, técnica y tecnología en su contexto. La beneficiada es la población social, que de esta forma podrá llegar a cada uno de los actores involucrados. (Sánchez 2015).

Campos electromagnéticos (CEM): es la combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan en un espacio o medio, transportando energía. Estos campos electromagnéticos involucran las longitudes de onda las cuales son inversamente proporcionales a la energía transportada, es decir a mayor longitud de onda menor energía transportada y a menor longitud de onda mayor energía transportada. (Organización Mundial de la Salud 2015).

Teniendo en cuenta que la radiación es una forma de energía en movimiento que se produce por la propagación de una onda electromagnética o partículas subatómicas a través de un medio, transportando energía de un lugar a otro. Con base en el espectro electromagnético existen 2 tipos de radiación la ionizante y la no ionizante. La radiación ionizante es aquella que posee energía suficiente para disgregar o romper la composición de la materia, como ejemplo de estas: rayos Alfa, Beta, Gama y X. La radiación no ionizante, radiación mínima energética que no puede ionizar la materia. Entre estas la radiofrecuencias, ultravioleta, microondas, infrarrojo y la luz visible. (UNIR, 2015).

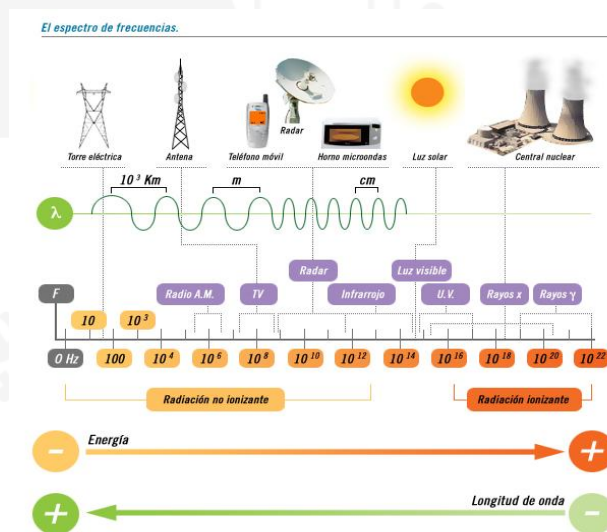


Figura 1. Definición de campo electromagnético.
Fuente: <http://www.protegetedelmovil.com/que-es-un-campo-electromagnetico/>

Aunque existen de forma generalizada enfermedades clasificadas a nivel nacional e internacional, para el caso de los expuestos a radiaciones ionizantes y no ionizantes, se pueden citar algunas, como se relacionan en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las radiaciones. Fuente: propia.

RADIACIONES IONIZANTES	RADIACIONES NO IONIZANTES
<ul style="list-style-type: none"> • Neoplasia maligna de cavidad nasal, huesos, bronquios, pulmón, piel • Leucemias • Anemias • Hipoplasia medular • Púrpura y otras manifestaciones hemorrágicas • Blefaritis • Conjuntivitis • Queratitis • Neumonitis • Catarata • Gastroenteritis • Infertilidad masculina 	<ul style="list-style-type: none"> • Conjuntivitis • Queratitis • Quemaduras solar • Neoplasias malignas de piel • Urticaria solar • Cataratas

Desde los años setenta, la población mundial se ha planteado interrogantes sobre los posibles efectos por la exposición a campos electromagnéticos (CEM) de frecuencia extremadamente baja (FEB) y si estos tienen consecuencias desfavorables para la salud. En este sentido se han desarrollado varios estudios por parte de la Organización mundial de la Salud, el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) y la Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), con uno de los proyectos bandera denominado Proyecto Internacional CEM para evaluar las pruebas científicas de los posibles efectos sobre la salud de los CEM en el intervalo de frecuencia de 0 a 300 GHz.

Los resultados de estos estudios muestran que Los límites de exposición están relacionados con los efectos de la exposición aguda de corto plazo, más que en la exposición de largo plazo, ya que la información científica disponible sobre los efectos a la exposición de los CEM de bajo nivel a largo plazo es considerada insuficiente, para afirmar cualquier deducción. (OMS, 2015)

Mientras existan estos vacíos de información científica clara al respecto y un alto nivel de incertidumbre, es importante tener en cuenta algunas recomendaciones dadas por la OMS y organizaciones internacionales, así:

- Cumplir con los requisitos normativos nacionales e internacionales de la (ICNIRP – IEEE).
- Aplicar el principio de precaución, debido al alto grado de incertidumbre científica y a la necesidad de realizar acciones de prevención, para riesgos potenciales sin esperar resultados de investigaciones.
- Promover programas de capacitación e información a toda la población tanto ocupacional como público en general.
- Disminuir emisiones contaminantes.
- Realizar periódicamente mediciones ambientales.
- Promover la investigación científica sobre los efectos y riesgos a la salud.

Decreto 162 del 2014: Por medio del cual se reglamenta la instalación y la restricción de las antenas de telecomunicaciones y la estructura que las soporta en la ciudad de Neiva. Teniendo en cuenta el *artículo 3*; permisos

para la ubicación e instalación de las estaciones de telecomunicaciones ubicadas dentro del perímetro urbano, de expansión urbana y zonas rurales del municipio, requerirán de un permiso de ubicación e instalación, expedido por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal; *artículo 4*; para la ubicación de estaciones de telecomunicaciones en el municipio, esta se permitirá en un radio no menos de 250 metros de otras estaciones de telecomunicaciones y de 250 metros de centros educativos, centros geriátricos y centros de servicios médicos; *artículo 5*: Instalación de estaciones de telecomunicaciones en áreas de edificaciones existentes como cubiertas, terrazas, se debe garantizar que la estructura existente no se vea alterada en su estabilidad, funcionalidad y habitabilidad, por lo tanto se deberán realizar los estudios de vulnerabilidad estructural que sean necesarios de conformidad con los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10; artículo 6: instalación de estaciones de telecomunicaciones en superficies de terreno; artículo 7: restricciones de ubicación de las estaciones de telecomunicaciones. (Alcaldía de Neiva 2014)

III. METODOLOGÍA

La metodología de investigación fue cuantitativa y como variable independiente “la ubicación de las antenas de telefonía existentes en la ciudad de Neiva”. Para cumplir con lo anterior los estudiantes del programa ingeniería de sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Neiva (Huila-Colombia) desarrollan las siguientes fases:

Fase 1: Búsqueda de información.

Analizan estudios de investigación relacionados con el proyecto, y se apoyan de referentes históricos suministrador por planeación municipal.

Fase 2: desarrollo de investigación.

Tomar como referencia la fase 1, para continuar con la visita a la muestra seleccionada utilizando una ficha técnica valorada por experto y como complemento a la recolección de información y reconocimiento del entorno utilizar la aplicación libre para dispositivos móviles llamada “Mis coordenadas GPS V. 1.74” que permitió la posición GPS, la latitud y longitud, mostrando en formato decimal y en grados°, minutos ‘, y segundos “, la referencia utilizada para georreferenciar es la WGS84, para luego realizar el respectivo análisis de lo obtenido.

IV. RESULTADOS

Este proyecto fue producto de un resultado de investigación realizado por los estudiante del programa ingeniería de sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Neiva (Huila-Colombia), cuya tendencia fue el identificar las antenas de telefonía móvil existentes en la ciudad de Neiva y establecer la distancia entre ellas. La corporación Universitaria del Huila se incluye al proceso de investigación con el tema de salud ocupacional mostrando posibles enfermedades que se puedan adquirir como resultado de la exposición a las antenas de telefonía.

Fase 1: Búsqueda de información.

Es de rescatar estudios de investigación cuya finalidad fue el conocer la percepción del riesgo en salud y los posibles efectos adversos sobre la calidad de vida que tiene la población frente a las distintas fuentes generadoras de campos electromagnéticos como las bases de telefonía móvil y la infraestructura eléctrica en la localidad de Fontibón a través de la metodología de cartografía Social durante el año 2010 (Corredor, Hernández y Quiroz, Cartografía social de los riesgos asociados a la exposición a campos electromagnéticos en una comunidad de la localidad de Fontibón Bogotá en 2010. 2014), otro resultado de investigación que muestran la caracterización del campo electromagnético producido por sistemas de comunicación inalámbricos, como estaciones base de telefonía celular y antenas de radio y TV, en ambientes urbanos (Escobar Ordoñez, Cadavid Ramírez y Aponte Mayor 2010.) y por último un estudio que consistió en efectuar mediciones en 50 sitios distribuidos en distintas zonas de la ciudad de Cali, para conocer y cuantificar los niveles de inmisión de campo electromagnético en estos puntos, para tener una muestra representativa de los niveles de campo electromagnético existentes en la ciudad (Valle. 2007.).

Como antecedente histórico planeación municipal de Neiva facilita información de la ubicación de antenas de telefonía móvil existente en la ciudad de Neiva, que refleja que a 2012 existían 5 antenas de telefonía móvil autorizadas, para 2013 de las 67 antenas de telefonía móvil ubicada en la ciudad de Neiva solo 5 están autorizadas para su ubicación por parte de planeación municipal.

Fase 2: desarrollo de investigación.

Tomando como referencia la forma indiscriminada de las empresas que proveen el servicio móvil, y como ubican antenas en la ciudad de Neiva, se inicia el proyecto con metodología de investigación cuantitativa y la variable independiente fue: la ubicación de las antenas de telefonía existentes en la ciudad de Neiva. Para la población se toma las comunas existentes en la ciudad de Neiva y la muestra fue de 8 comunas para verificar la respectiva ubicación de las antenas de telefonía móvil y aplicar el decreto 162 del 2014

Tabla 2. Análisis de resultados.

2000	2006	2012
6,475 antenas	15,000 antenas	1122 Municipios
90% ZONA URBANA	416 Permisos	Cobertura: 99%
Bogotá	Bogotá	34.721 pers/ant.

2012	2015
5 antenas	71 antenas
Neiva	Neiva
	17% cumplen Normatividad

De las 8 comunas se encontró la ubicación de 71 antenas de telefonía móvil, obteniendo que solo el 17 % es decir 12 antenas cumple con el decreto 162 del 2014, mientras que el 83 % es decir 59 antenas de telefonía móvil no cumple con el

decreto. De 71 antenas de telefonía móvil ubicadas en las comunas 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9 y 10, 59 antenas no están cumpliendo con el radio de 250m con la distancia entre antenas y distancias a sitios de interés como centros médicos, geriátricos, educación y comerciales.

V. CONCLUSIONES

- A la fecha el departamento administrativo de planeación municipal desconoce la ubicación actual de las antenas que están siendo instaladas en el municipio de Neiva. Y aumenta la ubicación de las antenas de telefonía móvil omitiendo el decreto 162 de 2014.
- El 17 % que equivale a 12 antenas de telefonía móvil y ubicadas en la comuna 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9 y 10 si cumplen con el decreto 162 del 2014.
- No existen evidencias investigativas científicas sobre los efectos a largo plazo en la salud de la población expuesta a CEM.
- Existen normativas internacionales y nacionales con límites de exposición cuantitativas.
- Se requiere mayor compromiso tanto de la academia como de las entidades gubernamentales en el tema de investigación aplicada a los efectos a los CEM.
- Promover un mayor seguimiento y trazabilidad a normativas referentes a mediciones ambientales.
- Liderar proyectos referentes a la inclusión de profesionales interdisciplinarios en investigaciones sociales.
- Realizar la inclusión de la proyección social en beneficio de las competencias y conocimientos acerca de la promoción y prevención de riesgos.

REFERENCIAS

- [1] Alcaldía de Neiva. Decreto 0162 de 2014. 18 de 1 de 2014. https://drive.google.com/folderview?id=0B4gkL3AqSHk3N0ZuRUFqSnRuVE0&usp=drive_web&tid=0B7M72cACf020cIA0bmxFa1dfREE (último acceso: 10 de 9 de 2015).
- [2] CDC, 2015. Tipos de emergencia por Radiación. Recuperado: 25-10-15. Disponible en: <http://www.bt.cdc.gov/es/radiation/typesofemergencies.asp>
- [3] Cook, John. «The role of dialogue in computer-based learning and observing learning: an evolutionary approach to theory.» Journal of Interactive Media in Education, 2002: 29.
- [4] Corredor, Caroly, Luis Jorge Hernández, y Leonardo Quiroz. «Cartografía social de los riesgos asociados a la exposición a campos electromagnéticos en una comunidad de la localidad de Fontibón Bogotá en 2010.» Revista de medicina., 2014: p.212.226.
- [5] Escobar Ordoñez, Rodolfo, Héctor Cadavid Ramírez, y Guillermo Aponte Mayor. «Caracterización de campos electromagnéticos de alta frecuencia en ambientes urbanos.» Revista de Ingeniería., 2010.: ISSN 0121-4993.
- [6] Gonzalez. web.educastur.princast.es. 9 de 8 de 2007. <http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisiquiweb/> (último acceso: 13 de 2 de 2015).
- [7] Gutiérrez, Héctor Mauricio González. Sinab - Sistema Nacional de Bibliotecas. 1 de 6 de 2009. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2317/1/75094455.20091.pdf> (último acceso: 26 de 3 de 2014).
- [8] INSTITUTO NACIONAL DE SALUD, 2015. INFORME ENCUESTA: Capacidad técnica de los Laboratorios de Salud Pública para realizar análisis de metales pesados en matrices biológicas y agua, 2014. Recuperado el 25-10-15. Disponible en: <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/examenes-de-inter%C3%A9s-en-salud-publica/Salud%20Ambiental/INFORME%20ENCUESTA%20CAPACIDAD%20LSP%20PARA%20ANALISIS%20DE%20METALES%20PESADOS%202014.pdf>

- [9] INSHT, 2015. REAL DECRETO 1066/2001, Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. Recurado el: 26-10-15. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2001/09/29/pdfs/A36217-36227.pdf>
- [10] MINSALUD., 2015. DIAGNOSTICO NACIONAL DE SALUD AMBIENTAL. Recuperado el: 25-10-2015. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IN/EC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf#search=no%2520ionizantes>
- [11] Min energía. 2015. RETIE- Pararrayos Radiactivo. Recuperado: 25-10-2015 Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/1179442/Pararrayos+Radiactivos.pdf/ea823084-8596-46c0-bfd2-e60ba8ffec73>
- [12] OMS, 2015. Campos Electromagnéticos y salud Pública. OMS, N° 322, junio 2007. <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs322/es/>
- [13] Onrubia, Javier. RED. Revista de Educación a Distancia. 20 de 2 de 2005. http://www.um.es/ead/red/M2/conferencia_onrubia.pdf (último acceso: 26 de 3 de 2014).
- [14] Organización Mundial de la Salud. Campos electromagneticos (CEM). 1 de 10 de 2015. <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/> (último acceso: 6 de 1 de 2015).
- [15] Quiceno, Jorge Obando y Monica. Memoria Vol. 11 de num.19 de 2013. 12 de 06 de 2013. <http://revistas.ucc.edu.co/index.php/me/article/viewFile/117/118> (último acceso: 26 de 3 de 2014).
- [16] Salvat, Begoña Gros. «Constructivismo y diseños de entornos virtuales de aprendizaje.» Revista de educación., 2002 : 225-247.
- [17] Sánchez, Irlesa. «El ingeniero de inclusión con video juegos.» Revista Educación en Ingeniería., 2015.: p.116-123.
- [18] Valle., Universidad del. «Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia.» Información Tecnológica., 2007.: ISSN 0718-0764.
- [19]

Una propuesta metodológica para la construcción de videojuegos

Jose Angel Gonzalez Gill
 Universidad Tecnológica de Panamá
 Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales
 Ciudad de Panamá, Panamá
 jose.gonzalez12@utp.ac.pa

Efrain Perez
 Universidad Tecnológica de Panamá
 Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales
 Ciudad de Panamá, Panamá
 efrain.perez@utp.ac.pa

Resumen- Este artículo presenta una propuesta metodológica llamada CASCRUM para el desarrollo de videojuegos en 2d como una herramienta para la construcción de este tipo de *software*. Esta propuesta se fundamenta en las etapas del ciclo de vida de la metodología de Cascada y como método de seguimiento de las etapas de CASCRUM integramos de la metodología Scrum el ciclo de reuniones Daily Scrum con una variante de la misma semanal la cual llamamos Week Meeting Planning. Para la evaluación de la propuesta tomamos como escenario a la Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales de la Universidad Tecnológica de Panamá Campus Central. El tiempo de experimentación fue durante los años 2013 al 2014. En el periodo académico del 2013 los estudiantes recibían la guía de un instructor con conocimientos avanzados en videojuegos en 2d, para el año 2014 algunos de los estudiantes del periodo anterior fueron los monitores de los grupos. Con el fin de evaluar si CASCRUM era eficiente para la construcción de videojuegos en 2d, se formaron tres grupos en ambos periodos y cada grupo se le asignaba una única metodología de desarrollo a lo largo del periodo de experimentación, las metodologías que se implementaron fueron (Cascada, Scrum y CASCRUM), para homologar los resultados se utilizaron las métricas del ciclo de vida de videojuegos.

Palabras Claves: Cascada; CASCRUM; Scrum; videojuegos; métricas de evaluación de videojuegos.

I. INTRODUCCIÓN

Para Wolf un videojuego, es un *software* desarrollado para el entretenimiento en el que existe interacción entre una o varias personas y un aparato electrónico. El usuario espera encontrar dentro del videojuego algunos elementos que estimulen su deseo de jugarlo como por ejemplo: conflicto contra un oponente o contra las circunstancias, reglas que determinan que se puede hacer y que no, el uso de las habilidades del jugador (como por ejemplo destreza, estrategia o suerte) y un resultado valorado (como por ejemplo obtener la mayor puntuación o realizar una tarea en el menor tiempo). El desarrollo de un videojuego es una actividad que involucra una serie de disciplinas tales como el desarrollo de *software*, diseño de arte, creación audiovisual entre otras. El mismo proceso de desarrollo de un videojuego tiene ya establecido un ciclo de vida con métricas de evaluación en cada una de ellas, esta metodología es totalmente diferente al ciclo de vida de un *software*, he aquí en donde se presenta la problemática

de la industria de desarrollo de videojuegos ya que los objetivos para los cuales son desarrollados los mismos son difíciles de medir ya que se basan en la parte subjetiva del cliente como por ejemplo (diversión, estrés entre otros factores).

Los desarrolladores de videojuegos presentan constantemente un sin número de problemas para la recolección de requerimientos y esto se debe a:

- La rápida y constante evolución de las tecnologías.
- Los requisitos cambiantes y difíciles de evaluar (diversión, atractivo gráfico).
- La comunicación se dificulta por ser una industria multidisciplinaria (artistas, diseñadores, sonidistas, etc.)
- Búsqueda de perfección lleva a retrasos en los plazos planificados (mejores armas, mejores escenarios, etc.)
- Concentración de conocimientos en pocas personas (un especialista en inteligencia artificial)
- El programador dedica un tiempo considerable a pedidos de los artistas y los diseñadores y menos tiempo a implementar nuevas características funcionales del juego en sí.
- El código termina atado a un juego en particular, reduciendo considerablemente la reusabilidad del código. Tanto los artistas como los diseñadores se ven perjudicados ya que ante cualquier cambio o ajuste pequeño dependen de cambios en el código por un programador y no pueden ver el mismo rápidamente. Además de esto factores, no existe una metodología estándar definida para la el desarrollo de videojuegos de forma eficiente, esto conlleva a que cada empresa utilice la metodología de desarrollo que más le convenga.

Esta investigación propone una metodología de desarrollo de videojuegos en donde se enmarca la fusión de dos metodologías extendidas a nivel mundial la de Cascada y Scrum. El ambiente de prueba para la implementación de la misma es la Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales de la Universidad Tecnológica, y con el fin de fortalecer el proyecto, los agentes de experimentación para determinar si la propuesta es funcional o no, son los estudiantes de la FISC, los cuales por estar relacionados

directamente en su gran mayoría con videojuegos entienden cuáles son los requerimientos para el desarrollo de los mismos.

Objetivo General

Diseñar una Metodología de desarrollo de videojuegos, que se adapte al contexto actual del mercado actual de este sector económico.

Objetivos Específicos

- Recopilar información sobre las metodologías que se usarán como base para la construcción del nuevo modelo, en nuestro caso: Metodología de Cascada y Scrum.
- Analizar los componentes más importantes de ambas metodologías para obtener los elementos que se usarán para el diseño de la nueva metodología híbrida llamada CASCRUM.
- Diseñar la metodología CASCRUM, tomando los elementos obtenidos del punto anterior.
- Seleccionar los requerimientos necesarios para la construcción del videojuego en 2d usando la metodología CASCRUM.
- Obtener los diferentes artefactos de las etapas del Proceso de Desarrollo de CASCRUM DEL VIDEOJUEGO 2D.
- Evaluar los resultados de las diferentes etapas del proceso de desarrollo de *software* CASCRUM DEL VIDEOJUEGO 2D.

Justificación

Las actuales metodologías de desarrollo de *software* han demostrado que no son eficientes para la construcción de videojuegos, y esto conlleva a que el producto no cumpla con los requerimientos indicados para el cliente. Esto se debe a que las empresas de desarrollo de videojuegos, no han estandarizado una metodología de desarrollo de videojuegos, que se ajuste de forma adecuada al proceso de diseño y de construcción del producto de *software*. Ciertamente cada videojuego tiene sus propias características únicas, mantienen un denominador en común (presentan el mismo modelo de desarrollo desde su fase de conceptualización, hasta el mantenimiento del mismo). Nosotros queremos demostrar con esta investigación, que con el desarrollo de la metodología CASCRUM, podemos obtener una metodología de construcción eficiente de videojuegos, la cual reduzca los costes de (Concepción, Diseño, Planificación, Producción, Pruebas, Mantenimiento).

Límites y Alcances

El tiempo de la investigación es desde el año académico 2013 hasta el año académico 2014. Se usarán 3 metodologías de desarrollo de *software* (Scrum, la de cascada, y la híbrida la fusión de la (Cascada-Scrum), como metodologías de desarrollo. Solo se conformaron tres grupos, uno por cada metodología, las metodologías fueron asignadas de forma aleatoria. No se evaluaron aspectos de calidad del producto de

software. Solo se evaluó si la metodología propuesta cumple con la entrega del artefacto correspondiente a cada etapa.

II. METODOLOGÍA HÍBRIDA PROPUESTA (CASCRUM) PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDEOJUEGOS

CASCRUM es una metodología de desarrollo de *software* híbrida entre (El método de Cascada y el Scrum). La pregunta de fondo es, ¿Por qué se escogieron estas dos metodologías para construir CASCRUM?, la elección se basó en:

1. Scrum es un modelo que explica cómo se deben hacer las reuniones y cómo coordinar personas para aprovechar al máximo el tiempo. Esta metodología marca una serie de reglas que bien usadas pueden conseguir un aumento en la eficiencia de los equipos de trabajo. Aplicando Scrum a un equipo, se puede conseguir mejorar los plazos de entrega, aumentar la versatilidad y la capacidad de adaptación del equipo. Esto se consigue mediante la eliminación de tiempos muertos, mejora en la comunicación y dando importancia preferente a las cuestiones relevantes.
2. Cascada es un modelo que tiene una visión del proceso de desarrollo de *software* como una sucesión de etapas que produce productos intermedios. Se tiene todo bien organizado y no se mezclan las fases. Si se cambia el orden de las fases, el producto final será de inferior calidad. Además de esto permite que:
 - La planificación sea sencilla.
 - La calidad del producto resultante es alta.

Características de CASCRUM

1. CASCRUM retoma una importante característica de las metodologías ágiles: incluir a los usuarios finales como parte del equipo de desarrollo. Esto ayuda en gran medida a lograr el éxito del proyecto, ya que son ellos quienes saben lo que quieren, por lo tanto, se debe tener el cuidado de propiciar un ambiente de confianza y colaboración con ellos.
2. El equipo debe estar conformado por seis miembros, en caso tal si el equipo de desarrollo es menor de seis integrantes, es decir que no se pueda asignar al menos un rol a cada integrante (Líder del Proyecto, Administrador del Proyecto, Programador, Probador y Documentador), pueden hacerse las adecuaciones necesarias para que una persona cumpla con uno o dos roles; aunque se sugiere que una persona sea destinada a cumplir sólo un rol.
3. Las reuniones semanales se llaman Week Planning Meeting tienen las siguientes características:
 - La reunión comienza puntualmente a su hora.
 - El grupo tienen derecho a voz y voto.
 - La reunión tiene una duración fija de dos horas.
 - La reunión puede cambiar de lugar, disponiendo de la disponibilidad.
 - Se presenta documento semanal de avances.
 - El cliente es invitado a la reunión, y da sus aportaciones si se está cumpliendo con lo que el pide, en base a la

información recibida, del documento semanal que se le entrega.

Las preguntas son abiertas en su gran mayoría para determinar el estado de avance de la etapa.

4. Realizar lluvias de ideas durante las reuniones: Esta técnica consiste en que el equipo de trabajo intenta descubrir cuál es el problema, cuál es la causa de un problema y cómo resolverlo; a través de la participación de cada miembro con sus ideas. El proceso de esta técnica consiste en los siguientes pasos:
 - Seleccionar el tema.
 - Generar la lluvia de ideas a través de la participación de los involucrados.
 - Realizar el análisis de las ideas.
 - Seleccionar las mejores ideas.

Fases de CASCRUM

CASCRUM se fundamenta en cinco fases las cuales son (Especificación de requisitos, Planificación, Construcción, Implementación y PostMortem) tal como se puede apreciar en la figura 1.

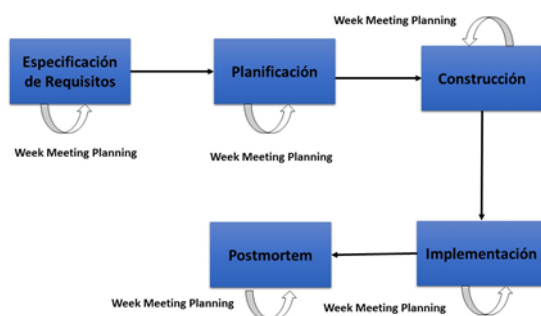


Figura 1. Ciclo de Vida de CASCRUM.

Dentro de cada etapa de la metodología hay un proceso de retroalimentación semanal llamado (Week Planning Meeting), esto garantiza que los productos de cada fase sean desarrollados de forma eficiente.

a. Fase de Definición de los requisitos

Es la etapa más crítica de toda la metodología, es aquí donde se determina los requerimientos funcionales y no funcionales del videojuego para su posterior construcción. Los requisitos de desarrollo son dados por el cliente. Esta metodología propone que se dedique aproximadamente el veinte por ciento del total del proyecto, ya que hay evidencias. La etapa de Planteamiento, es crucial para el desarrollo correcto del videojuego, ya que si no se tiene claro, hasta donde es límite del proyecto el costo del proyecto. En las reuniones semanales Week Planning Meeting de esta etapa se debe lograr tener la lista de requerimientos por parte del usuario antes de pasar a la

siguiente etapa. Aquí se desarrolla un documento de concepto del juego que es el producto para la siguiente etapa.

b. Fase de Planificación

En base al documento de concepto de la fase anterior, se desarrolla la etapa de planificación. En esta etapa se determinan los hitos de desarrollo del videojuego. Es aquí donde se determinan los hitos para las siguientes etapas, el coste de desarrollo, y de implementación del videojuego. Es aquí donde se desarrolla el documento de diseño del producto que es el insumo de la siguiente etapa.

c. Fase de Construcción

En base al documento de diseño, se desarrolla la etapa de producción. Esta etapa es la fase de desarrollo del producto en donde se crean los primeros prototipos del mismo.

d. Fase de Implementación

Esta fase tiene como objetivos entregar la versión final del videojuego al cliente según las formas establecidas y evaluar el desarrollo del proyecto. Para la evaluación se estudian los problemas ocurridos, los éxitos conseguidos, las soluciones halladas, el cumplimiento de objetivos y la certeza de las estimaciones. Con las conclusiones extraídas se registran las lecciones aprendidas y se plantean mejoras a la metodología.

2.2.5 Fase de PostMortem

Esta fase se realiza el análisis del costo de cada etapa de desarrollo del producto en referencia a la cantidad de horas usadas para determinar si hubo un sobrecosto en la ejecución del proyecto.

III. ESCENARIO DE EVALUACIÓN

Metodologías de Comparación

Se utilizaron dos metodologías para comparar si la metodología propuesta CASCRUM cumplía con las expectativas para la cual fue diseñada e implementada. Se utilizaron las siguientes metodologías, Ya que ambas son el fundamento de CASCRUM:

- Scrum
- Cascada

Características de los Equipos

Se estableció algunos parámetros para la conformación de los grupos de trabajo, estos fueron:

- Todos deben estar entre las edades de a 17 años a 22 años.
- No deben tener experiencia previa sobre el uso de metodologías de desarrollo de Ingeniería de *Software*.
- Deben ser parte de un mismo salón de clases.
- Deben tener un máximo de siete integrantes cada equipo.

- La selección de la metodología de desarrollo fue al azar.

Selección de grupos: Año 2013

La selección de los grupos se dio en dos fases, una entrevista individual con preguntas mixtas para determinar el estado del estudiante con referente a cuan avanzado estaba en habilidades técnicas de programación y sobre su conocimiento en base a metodologías de desarrollo de *software*.

La segunda fase tienen como objetivo principal la de seleccionar los grupos de trabajo. Para esto se usó la metodología de las entrevistas con preguntas abiertas. Los grupos se agruparon en base a su afinidad de amistad, ya que esto facilitaría el trabajo en equipo.

Selección de grupos: Año 2014

Hubo una variante en los Project Managers, son estudiantes que participaron en el proceso de desarrollo 2013. Solo se aplicó los puntos A Y B para la selección de los grupos del año 2014.

Alcance de la aplicación de las metodologías

- Tiempo de desarrollo de los videojuegos promedio de 7 meses.
- Equipos de desarrollo conformados por 6 estudiantes (sin contar a los usuarios y al cliente).

Seguimiento a los grupos

Durante el proceso de desarrollo del video juego, se tendrán que prevenir riesgo, para esto es necesario hacer uso del Ciclo de Deming. Se les daba seguimientos para poder apoyar a los estudiantes en sus habilidades de desarrollo para poder completar el proyecto. Esto consistía en una reunión semanal por cada equipo por un tiempo de 4 horas, introduciéndolos en el desarrollo de videojuegos.

Además se le dio un seminario taller para el aprendizaje de las metodologías asignadas. Estas reuniones de apoyo a las habilidades de desarrollo y de aprendizajes de las metodologías de *software*, no son en nada parecidas a las de Week Meeting Planning.

Selección de Métricas de Evaluación

Para poder evaluar la eficiencia de las metodologías utilizadas en este proyecto, se seleccionaron los artefactos del ciclo de vida de un videojuego. Ya que un videojuego presenta su propio modelo de desarrollo, cabe destacar que su metodología es parecida al modelo de cascada.

IV. ANALISIS DE LOS RESULTADOS. DE LA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE DESARROLLO EN LOS VIDEOJUEGOS CONSTRUIDOS

Etapa de Conceptualización

La tabla 1, muestra que la metodología de cascada presenta problemas a la hora de entregar la documentación de esta fase, el grupo que usó esta metodología indicó que preferían ir al desarrollo de las interfaz del juego primeramente y luego documentar ya que les parecía tedioso escribir.

Mientras tanto en las otras dos metodologías usadas, los estudiantes si presentaron la documentación solicitada ya que hay un proceso de seguimiento diario y semanal.

Tabla 1. Métricas de Evaluación de la Etapa de Conceptualización.

AÑO 2013					
METRICA		METODOLOGIA			OBSERVACIONES
		CASCADA	SCRUM	CASCRUM	
		CUMPLE			
Entrega Del Prototipo		NO	NO	NO	Los prototipos no cumplen con los requerimientos establecidos.
Entrega Del Historial De Versiones		NO	NO	SI	Ambos equipos no entregaron la documentación completa.
Entrega Del Documento De La Visión General Del Juego		NO	SI	SI	No entrego la documentación completa.

El grupo de la metodología Scrum aseguro que era tedioso reunirse constantemente todos los días debido a los múltiples deberes que tienen con las demás asignaturas, entre tanto el grupo que usó la metodología CASCRUM, se sentía satisfecho con el seguimiento semanal ya que les permitía poder organizarse correctamente.

Etapa de Pre- Producción

La tabla 2, muestra que la metodología de cascada presenta problemas a la hora de entregar la documentación de esta fase, el grupo indicó que encuentra difícil planificarse a la hora de documentar todo el proceso, que el desarrollo de un videojuego sin supervisión es difícil y que se encuentran desanimados

Tabla 2. Métricas de Evaluación de la Etapa de Pre-Producción.

AÑO 2013				
METRICA	METODOLOGIA			OBSERVACIONES
	CASCADA	SCRUM	CASCRUM	
	CUMPLIO	CUMPLIO	CUMPLIO	Causa por qué no se cumplió.
Entrega Del Documento De Diseño	NO	SI	SI	El grupo que utilizo la metodología de cascada, comento que no logro entender claramente, como se relacionaba el documento de entrega con la etapa.
Entrega Del Documento De Producción De Arte	NO	SI	SI	No hay comentarios
Entrega Del Prototipo	NO	SI	SI	El grupo que utilizo la metodología de cascada, no logro terminar el prototipo a tiempo debido a la falta de organización del equipo, para el desarrollo del producto inicial.
Entrega Del Historial De Versiones	NO	SI	SI	El grupo que utilizo la metodología de cascada, no logro entregar el documento debido a la falta de organización en el grupo.

Mientras tanto en las otras dos metodologías usadas, los estudiantes si presentaron la documentación solicitada ya que hay un proceso de seguimiento diario y semanal.

El grupo de la metodología Scrum confirma una vez más que era tedioso reunirse constantemente todos los días debido a los múltiples deberes que tienen con las demás asignaturas y sumado a eso el líder del Proyecto(un estudiante) carece de conocimientos de cómo liderar al grupo. Entre tanto el grupo que usó la metodología CASCRUM, confirma que el seguimiento semanal les ha podido ayudar a organizarse pero sin embargo también indican que el líder del Proyecto(un estudiante) también desconoce de muchos de los elementos necesarios para terminar el proyecto.

Etapa de Producción

Tabla 3. Métricas de Evaluación de la Etapa de Producción.

AÑO 2013				
METRICA	METODOLOGIA			OBSERVACIONES
	CASCADA	SCRUM	CASCRUM	
	CUMPLE			
Plantillas de los Documentos de Producción	NO	NO	SI	El grupo de cascada desistio del Proyecto. El Scrum no entrego el documento por falta de tiempo. CASCRUM lo termino pero a medias.

Etapa de Conceptualización

La tabla 4, muestra que la metodología de cascada pudo esta vez entregar el document ya que se introdujo un lider de Proyecto del año anterior con experiencia, esto en gran manera facilito el proceso de desarrollo.

Tabla 4. Métricas de Evaluación de la Etapa de Conceptualización.

AÑO 2014				
METRICA	METODOLOGIA			OBSERVACIONES
	CASCADA	SCRUM	CASCRUM	
	CUMPLIO	CUMPLIO	CUMPLIO	
Entrega Del Prototipo	SI	SI	SI	No hay
Entrega Del Historial De Versiones	SI	SI	SI	No hay
Entrega Del Documento De La Visión General Del Juego	SI	SI	SI	No hay

El grupo de la metodología Scrum confirma una vez más que era tedioso reunirse constantemente todos los días debido a los múltiples deberes que tienen con las demás asignaturas pero han encontrado un gran apoyo con el líder del Proyecto(un estudiante con experiencia en desarrollo de videojuegos).

Entre tanto el grupo que usó la metodología CASCRUM, confirma que el seguimiento semanal les ha podido ayudar a organizarse y con el apoyo del lider del Proyecto(un estudiante con experiencia el rendimiento ha sido mejor).

Etapa de Pre- Producción

Tabla 5. Evaluación de la Etapa de Pre-Producción.

2014				
METRICA	METODOLOGIA			OBSERVACIONES
	CASCADA	SCRUM	CASCRUM	
	CUMPLIO	CUMPLIO	CUMPLIO	
Plantillas de los Documentos de Producción	SI	SI	SI	Todos los grupos presentaron el product en la fecha indica.

Etapa de Producción

Tabla 6. Métricas de Evaluación de la Etapa de Producción.

AÑO 2014				
METRICA	METODOLOGIA			OBSERVACIONES
	CASCADA	SCRUM	CASCRUM	
	CUMPLIO	CUMPLIO	CUMPLIO	Causa por qué no se cumplió.
Entrega Del Documento De Diseño	SI	SI	SI	No hay comentarios
Entrega Del Documento De Producción De Arte	SI	SI	SI	No hay comentarios
Entrega Del Prototipo	SI	SI	SI	No hay comentarios
Entrega Del Historial De Versiones	SI	SI	SI	No hay comentarios

V. CONCLUSIONES

Desarrollar un producto de *software*, es tarea compleja, y aún más cuando se trabaja con estudiantes de primer ingreso, sin

conocimientos previos de desarrollo y sobre el uso de las metodologías de desarrollo de *software*. Esto puede parecer una gran desventaja, pero ajustando las metodologías al contexto adecuado se puede obtener resultados interesantes. A continuación se describirán las conclusiones más importantes de este proyecto:

- La diferencia entre los proyectos de desarrollo de videojuegos entre los periodos académicos 2013-2014, se marcó fue en la entrega de los artefactos y en el seguimientos de los requerimientos dados al principio del proyecto del año académico 2014. Un factor importante fue la introducción de un estudiante que participó en el proyecto del año académico 2013. El estudiante tenía habilidades más avanzadas sobre el desarrollo del proceso de la construcción de los videojuegos.
- La etapa que presentó los mejores resultados en el desarrollo de videojuegos independientemente de la metodología usada, fue la de (conceptualización). La mayor parte de los grupos el documento en la fecha indicada. Los estudiantes comentan que el documento de entrega de esta fase es fácil de entender y de desarrollar en comparación al respeto de los artefactos de las demás etapas de desarrollo.
- Sobre los Roles usados en todas las metodologías de desarrollo usadas en el proyecto, la que mejor dio resultados fue la propuesta por CASCRUM. Este aspecto en base al artefacto de Post Mortem. Dicho documento refleja que los miembros del grupo mantenían una comunicación efectiva a lo largo del desarrollo del proyecto.
- La metodología más eficiente para el desarrollo de videojuegos en estudiantes, fue la de cascada. Los estudiantes indican que el proceso de la metodología, no les permitía tener retroalimentaciones directas con el cliente y esto dificulta, el desarrollo de forma eficiente del videojuego.
- Scrum fue la segunda mejor metodología evaluada en el proyecto, pero sin embargo, los estudiantes indicaron que las reuniones diarias eran casi imposible de hacerla. Una de las causas es que los estudiantes desarrollaban a la par de los proyectos múltiples de sus materias regulares de curso las cuales les restaban tiempo.
- Los estudiantes que usaron la metodología Cascrum, mencionaron que el Week Planning Meeting, les permitió avanzar rápidamente en el desarrollo del producto de *software*, ya que al tener libertad de escoger la hora y el día, de la reunión ellos se podían planificar correctamente, las siguientes etapas de la elaboración del videojuego.
- Los grupos que usaron la metodología Cascrum, indicaron que entendieron perfectamente las etapas de la metodología y que sabían perfectamente que se esperaba en cada una de ellas. Mientras tanto en las demás metodologías no se logró entender con claridad que se deseaba en cada fase.

- Los grupos que usaron la metodología de cascada no lograron desarrollar el producto con las especificaciones indicadas, y no entregaron la documentación completa de los artefactos, esto se debió a que los miembros de los grupos dicen, que las etapas son complejas y no son fáciles de llevar por la falta de retroalimentación.

REFERENCIAS

- [1] Hans Van Vliet, "Software Engineering. Principles and Practice" (Tercera edición, 2002) Ian Sommerville, "Software Engineering" (Sexta Edición, 2001)
- [2] Mitchel H. Levine, "Analyzing the Deliverables Produced in the Software Development Life Cycle" (2000)
- [3] Lawrence-Pfleeger y Shari, "Software Engineering: Theory and Practice", (1998)
- [4] Ron Burbach, "Software Engineering Methodology", (1998)
- [5] Roger S. Pressman, "Software Engineering. A practitioner's Approach" (Quinta Edición, 2001)
- [6] R. Kazman, J. Asundi, M. Klein, N. L. Compton, and L. Col, "Making architecture design decisions: An economic approach," 2002
- [7] Keith, C. 2009. Waterfall Game Development. Obtenido de Agile Game Development: <http://www.agilegamedevelopment.com/2009/01/in-dawnof-video-game-development.html>
- [8] <http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF5700/h12/undervisningsmateriale/bb-samlet.pdf>
- [9] http://www.mccormickpcs.com/images/Waterfall_vs_Agile_Methodology.pdf
- [10] <http://www.serena.com/docs/agile/papers/Managing-The-Development-of-Large-Software-Systems.pdf>
- [11] http://www.inf.ed.ac.uk/teaching/courses/seoc2/2004_2005/slides/methodologies_4up.pdf
- [12] http://www.tutorialspoint.com/sdlc/pdf/sdlc_waterfall_model.pdf
- [13] http://www.cs.rit.edu/~hpb/Scia/Bridge_2005/intro_se_workshop_materials/s2_process_models.pdf
- [14] http://www.cs.rit.edu/~hpb/Scia/Bridge_2005/intro_se_workshop_materials/s2_process_models.pdf
- [15] <http://programmers.stackexchange.com/questions/134256/what-is-the-difference-between-a-software-process-model-and-software-engineering>
- [16] <http://ifs.host.cs.standrews.ac.uk/Books/SE7/Presentations/PDF/ch4.pdf>
- [17] http://www.cs.toronto.edu/~torsten/THahmann_CSC444_Tutorial1_SWDevProcesses.pdf
- [18] <http://www.csie.nuk.edu.tw/~ayen/teach/se/se-note02.pdf>
- [19] Emerging Trends in Software Engineering presented by Roger S. Pressman, Ph.D. R.S. Pressman & Associates, Inc. Boca Raton, Florida USA January, 2009
- [20] Flood, K. 2003. Game Unified Process. Obtenido de GameDev:<http://www.gamedev.net/reference/articles/article1940.asp>.
- [21] SANGER, J., WILSON, J., DAVIES, B. y WHITTAKER, R. (1997): Young children, videos and computer games: Issues for teachers and parents. Londres: Falmer
- [22] ROUSE III, R. (2005): Game design: Theory and practice. Texas: Wordware Publishing.
- [23] RYAN, M. L. (2001): Narrative as virtual reality: Immersion and interactivity in literature and electronic media. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- [24] Otter. 2008. The Movie Industry Vs. the Gaming Industry. Obtenido de Associated Content: http://www.associatedcontent.com/article/1015720/the_movie_industry_vs_the_gaming_industry.html

Una propuesta metodológica para la Gamificación de pruebas psicométricas. Un caso práctico

Jose Angel Gonzalez Gill
 Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales
 Universidad Tecnológica de Panamá
 Ciudad de Panamá, Panamá
 jose.gonzalez12@utp.ac.pa

Resumen—Esta investigación tiene como objetivo desarrollar una propuesta metodológica para la Gamificación de pruebas psicométricas que miden un determinado estado psicológico. Se usó para el modelo un fuerte componente ingenieril el cual se fundamenta en las áreas de HCI e Ingeniería de *Software*. La evaluación del instrumento gamificado paso por un proceso de validación a través de las técnicas de psicometría (fiabilidad y validez del juego). Se usó la atención como parámetro inicial de evaluación de esta propuesta utilizando estudiantes de la Universidad Tecnológica como agentes de prueba de la instrumento.

Palabras claves: Atención; Análisis Factorial; Confiabilidad; Estados Psicológicos; Gamificación; KR-20; Validez; Videojuegos.

I. INTRODUCCIÓN

La medición psicológica es un proceso que le permite al psicólogo cuantificar características humanas y objetivizar procesos de evaluación.

Las pruebas psicométricas se hacen parte de un proceso general organizado para llegar a una impresión diagnóstica de un determinado estado psicológico de un paciente en un periodo determinado del tiempo pero no se pueden convertir en el único medio de información escrita para diagnosticar un determinado estado psicológico.

Cuando se aplica una prueba psicológica a un usuario, en la mayoría de los casos el tiempo que toma hacer la prueba hace que el proceso de desarrollo de la misma sea tediosa para quien está siendo evaluado, esto conlleva que las respuestas no seas las deseadas dando así valores equivocados.

La interrogante que surge es, ¿podemos gamificar una prueba psicométrica para hacerla más atractiva para los usuarios?.

Esta investigación tiene como objetivo proponer una metodología para la Gamificación de pruebas psicométricas de forma computacional con el fin de buscar otras alternativas más eficientes de aplicación de estas indicadores de estados psicológicos.

1.1 Hipótesis

A continuación se describen la hipótesis asumida para la realización de los objetivos. Esta hipótesis no sólo facilita la definición de los objetivos de la investigación sino que finalmente permitirán una correcta evaluación sobre su desarrollo. Para esta investigación se han propuesto la siguiente hipótesis de trabajo:

Hipótesis 1: Es posible evaluar aspectos del estado psicológico de una persona mediante una aplicación informática basada en juegos serios.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de la investigación es desarrollar una metodología para la Gamificación de pruebas psicométricas.

El objetivo enunciado requiere una concreción mayor desde el punto de vista técnico. Para ser abordado desde un enfoque basado en la ingeniería se requiere establecer objetivos más específicos encaminados a ir solventando algunas de las necesidades detectadas en fases de estudio y que suponen carencias que trata de suplir el objetivo principal. Con los objetivos específicos se materializan técnicamente el objetivo principal. A continuación se realizará una enumeración de estos objetivos más concretos:

- Definir los estados psicológicos a gamificar. El estado psicológico de una persona es algo inabarcable en líneas generales por lo que se requiere una concreción sobre qué aspectos en concreto se tendrán en cuenta. Para ello se consultó con expertos en el campo de la psicología.
- Desarrollar y verificar un instrumento psicométrico que permita la obtención de los factores psicológicos previamente acordados.
- Validar el instrumento mediante experimento. Se llevará a cabo un experimento orientado a su validación completa.

1.3 Justificación

En la actualidad se han diversificado enormemente los métodos de Gamificación como estrategia en diversos campos tales como (educacional, financiero, ocio, salud).

La rama de psicología está tomando interés en la Gamificación como herramienta de apoyo a sus terapias, ya que ha visto que la gran mayoría de los pacientes están identificados con los videojuegos que es la forma más representativa actualmente de esta técnica.

Y aunque este método no es nuevo, han cobrado mayor popularidad en los últimos años. Su importancia radica en el enriquecimiento de los procesos de enseñanza y la mejora en los resultados de aprendizaje.

Esta diversificación también provoca que los psicólogos puedan obtener nuevas herramientas para apoyar sus diagnósticos. Transformar de las pruebas psicométricas a juego serios podrían ser una herramienta de gran apoyo al especialista de esta área, ya que la mayoría de los usuarios son nativos con las tecnologías relacionadas con los videojuegos y les sería más fácil ver la prueba como un mecanismo de diversión que una prueba de evaluación.

1.4 Límites y Alcances

Para comprobar la efectividad del método, se limitó a un único factor psicológico a medir: la atención. La población de estudio quedó limitada a los estudiantes del campus central de la Universidad Tecnológica de Panamá. Las mediciones se realizarán una sola vez por sujeto de estudio. De esta forma no se establece una secuencia de entre diferentes fechas de los niveles de atención de cada individuo limitando el estudio a una evaluación de relación entre las variables que afectan a la atención.

II. METODOLOGÍA

2.1 Visión general de la estrategia

Debido al carácter multidisciplinar de la investigación necesaria para cumplir con los objetivos presentados para determinar si es efectiva esta propuesta metodológica, se utilizó una estrategia compuesta por distintas fases claramente diferenciadas. A su vez estas fases están definidas por el uso de métodos ampliamente aceptados en los distintos campos que son de aplicación. La mayoría de los métodos que han sido considerados para la creación del método final vienen del campo de la ingeniería y de la psicología. A continuación se describe detalladamente la estrategia seguida a través de la Figura 1.

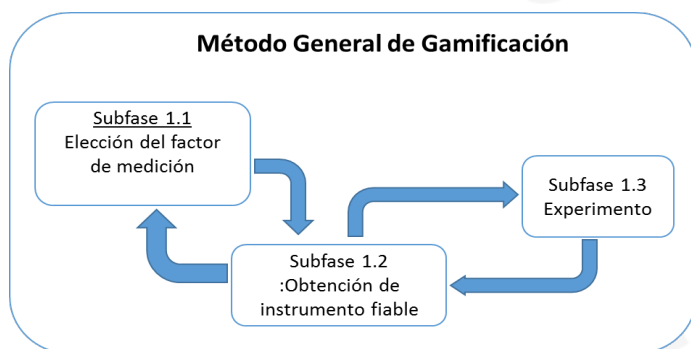


Figura 1. Método General.

La estrategia se ha estructurado en tres fases secuenciales (Figura 1). La fase 1 está orientada a la obtención de un conjunto de juegos serios válidos para la medición de la atención y la correcta caracterización de éstos. Para ello se ha dividido esta fase 1 en dos subfases. La subfase 1.1 está relacionada con el desarrollo de los juegos de forma que puedan ser considerados como un instrumento psicométrico válido. La subfase 1.2 es la realización de un experimento que permita la identificación y caracterización de las distintas variables existentes en los juegos y que tengan que ver con la atención. Y la subfase 1.3 la evaluación del instrumento.

2.2 Subfase 1.1 (Elección del factor a medir).

2.2.1 Desarrollo del instrumento (juegos)

Como se comentó previamente el desarrollo del instrumento queda enmarcado en la subfase 1.1 (Figura 1). Esta subfase ha sido la más exigente de toda la investigación llevada a cabo lo que queda reflejado por el elevado número de tareas definidas así como la dependencia entre ella. A continuación se describen todas las tareas referidas en esta subfase, incidiendo en los aspectos más críticos para el buen funcionamiento de la investigación. Ver Figura 2.

2.2.2. Test psicométricos

La subfase 1.1 comienza con entrevistas abiertas con expertos relacionados con la psicometría. Estas reuniones, sin esquema previo definido, permiten obtener una información más precisa sobre las posibilidades de medición existentes. Tras las reuniones abiertas se procede al análisis por parte del grupo de ingeniería que evalúa las opciones disponibles en términos de diseño e implementación de los juegos.

Tras el análisis inicial se vuelve a tener reuniones con los expertos pero esta vez de forma más guiada.

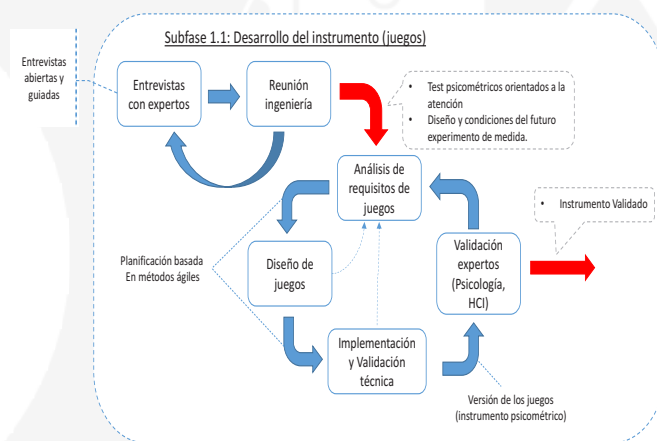


Figura 2. Subfase 1.1.

Estas reuniones ya tienen un esquema definido y su principal objetivo es identificar el factor (o factores) que se tendrán en cuenta. Los resultados de las reuniones guiadas volverán a ser la base de un análisis de ingeniería. Este proceso se repitió tantas veces como fue necesario hasta obtener el factor o conjunto de factores que son objeto de medición, las condiciones de medición en entornos computacionales y las necesidades de validación.

Una vez obtenido el factor a medir (la atención tal y como se ha comentado previamente) y los requisitos en los cuáles se debe medir, el equipo de expertos proporcionaron un test psicométrico de medición de la atención acorde a una población con un rango de edades de 15 años a 60 años. Este test ha sido tomado como base para el desarrollo de los juegos.

Para la transformación del test en juegos, además del proceso de *ludificación* que se verá posteriormente, se obtuvieron una serie de recomendaciones de redacción del equipo de expertos:

- Utilizar el tiempo presente.

- Deben ser “relevantes”, en el sentido de que su contenido debe relacionarse claramente con el rasgo.
- Contenido claro, evitando excesiva generalidad. Frases cortas, simples e inteligibles.
- Evitar incluir dos contenidos en un ítem.
- Tener en cuenta que lo que se dice en la declaración pueda ser asumido por alguien, y no por todos.
- En escalas de actitudes, no plantear la existencia o no de hechos, sino el posicionamiento personal sobre la afirmación. Redactar ítems que discriminen entre los de actitud positiva y los de actitud negativa.
- Para minimizar la (tendencia a responder afirmativamente, independientemente del contenido por el que se pregunta) conviene redactar ítems de modo directo e inverso (declaraciones tanto en sentido positivo como en sentido negativo). Evitar el uso de negaciones (no, ninguno, nunca,...) y de universales (todo, siempre, nada,...).
- La idea principal del ítem debe estar en el enunciado.
- Simplicidad en el enunciado.

2.2.3 Requisitos de jugabilidad

De acuerdo con Huizinga, “El juego es el ejercicio más importante que el hombre puede hacer de su libertad”.

A raíz de esta definición se puede decir que el juego tiene diversas motivaciones en el ser humano como por ejemplo:

- En las comunidades primitivas se originó frecuentemente con el ritual religioso de participación colectiva.
- En otras veces surgió como aprendizaje y especialización de determinados trabajos y labores.
- Además pueden ayudar a desarrollar cualidades y/o habilidades psicológicas, cognitivas, físicas y/o sociales.

Es por esto que en esta parte fundamental del proceso de la construcción del instrumento computacional en base a un test psicométrico, se ha decidido darle una connotación de una plataforma de juegos ya que para nuestro caso de estudio sería más interactivo y generaría menos estrés que un test psicométrico clásico ya que las personas tienden a poner resistencia a ser evaluadas.

2.2.4 Caracterización de los usuarios

Como se había explicado anteriormente, nuestros usuarios son los estudiantes del campus central de Universidad Tecnológica de Panamá, precisamente de las facultades de (Ciencia y Tecnología, Industrial, Eléctrica y Sistemas Computacionales).

2.2.5 Análisis de las necesidades de los usuarios

Se procedió a una serie de entrevistas abiertas con veinte estudiantes. En estas entrevistas se les mostraba el test obtenido por las expertas en psicología, y se les pedía su opinión de cómo podían ser implementados en forma de juegos. Se anotaron las sugerencias para ser implementadas en el diseño. La muestra de estudiantes fue aleatoria dentro de la Facultad de Sistemas Computacionales de la Universidad Tecnológica de Panamá.

2.2.6 Diseño y evaluación el artefacto

Tomando en cuenta las opiniones de los encuestados se procedió a crear un boceto preliminar de los ítems. Se crearon bocetos del diseño y se les presentaron a un conjunto de 38 estudiantes seleccionados aleatoriamente. Cada estudiante, de forma independiente, evaluó por separado los diseños (Figura 3).

Figura 3. Diseño de evaluación.

2.2.7 Validación por parte de los expertos

Tras el proceso de desarrollo se obtuvo una primera versión de la plataforma de juegos. Para validar la plataforma como instrumento psicométrico antes de la realización del experimento principal se diseñó un experimento orientado a este fin.

2.2.8 Requisitos de Ingeniería de Software

Ya teniendo los diseños escogidos para ser construidos se procedió, a desarrollar los mismos. Para esto se pidió la colaboración del grupo de Investigación Carpet Diem, CIDITIC de la Universidad Tecnológica de Panamá.

2.3 Sub Fase 1.2 (Obtención del Instrumento Fiable)

2.3.1 Pre-Experimento

Para realizar una primera validación global del instrumento se diseñó un experimento previo al experimento principal orientado a ese fin. En concreto los requisitos del experimento previo fueron:

- Se desea validar previamente el test desde un punto de vista psicológico y desde un punto de vista de la usabilidad.
- Muestra significativa tanto para realizar una validación previa psicológica como la de usabilidad.
- Aleatorización de los estudiantes involucrados.
- Únicamente se evaluarán los juegos. Como se verá posteriormente en el experimento principal, además de los juegos, se incluyen varios formularios orientados a obtener información sobre la relación entre la atención, la situación personal de los individuos, sus conductas y las nuevas tecnologías. Toda esta última parte de adquisición

de información adicional a la investigación se elimina de esta prueba de validación.

- Se pone un tiempo límite para llevar a cabo los juegos. A diferencia de lo que ocurrirá posteriormente en el experimento principal, esta prueba no será de poder. Esto es debido a que una de los objetivos principales es la evaluación del nivel de comprensión del instrumento.
- Con estas premisas se llevó a cabo el experimento previo con un total de 83 individuos. Una vez realizado el test se pasó al proceso de validación psicológica y de usabilidad.

2.3.2 Proceso de validación psicológica

Dado que los juegos tienen una estructura similar a los test en términos de variables dependientes e independientes los expertos realizarán una validación análoga a la de los test. Una vez definido el constructo Las tres medidas fundamentales de validación de los test son la fiabilidad, la validez y la tipicidad de un test psicométrico. Ver figura 4.

- **Fiabilidad:** Es usado para instrumentos que tienen formatos de respuestas dicotómicas como el caso de los juegos diseñados. La técnica se establece en una correlación que es basada sobre la consistencia de respuestas a todos los ítems de un test que es administrado una vez. El mínimo aceptable del puntaje de KR20 es 0.70.

$$KR_{20} = (n(n-1)) * (\sigma^2 - p * q \sigma^2) \quad (1)$$

Donde,

σ^2 es la variación de las cuentas de la prueba.

n es el número total de ítems en la prueba

p_i es la proporción de respuestas correctas al ítem i .

Índice de inteligencia = proporción de respuestas incorrectas al ítem.

Para el experimento realizado se considera un límite no inferior del 0.80 para que sea considerada confiable.

- **Validez:** La validez del constructo, se describe como un proceso en donde se acumula información, la cual sirve como evidencia con el propósito de obtener la precisión en la medición del estado psicológico a medir en base a las puntuaciones obtenidas de la prueba. En la investigación llevada a cabo se concreta en la exactitud con que pueden hacerse medidas significativas y adecuadas con los juegos para determinado constructo (la atención). Dadas las características del experimento a llevar a cabo (que será transversal y con un objetivo fundamental de identificar las variables dependientes más relevantes) el estudio se ha centrado en analizar la validez del constructo. Este concepto se refiere a la exactitud con que pueden hacerse medidas significativas y adecuadas con un test a un determinado constructo.

Existen varias técnicas para realizar este análisis. Para esta investigación se ha optado por el análisis factorial.

- **Tipicidad:** Para el experimento previo no se realizó el test de tipicidad ya que no era un objetivo encontrar una muestra de población suficientemente significativa. Los expertos consultados comentaron que debido a la falta de antecedentes parecidos y que no era una validación de experimento final sino una validación anterior para afinar más el instrumento la muestra utilizada era suficiente.

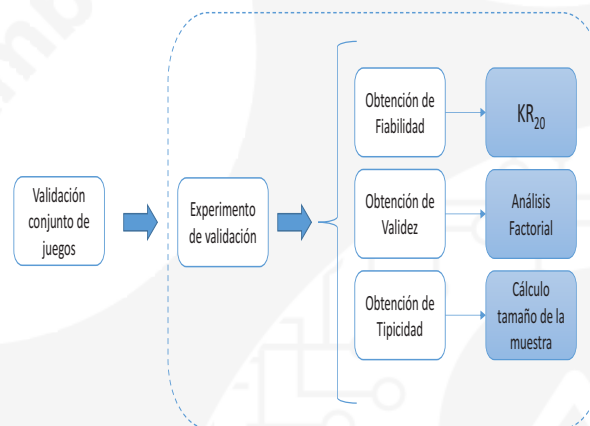


Figura 4. Proceso de Validación Psicológica.

2.3.3 Modificación del instrumento

Una vez realizado el experimento previo se procede al análisis de los resultados obtenidos. Con ello se establecerán citas con las expertas en psicología y HCI y se procederá a iniciar de nuevo el proceso de desarrollo de los juegos con las variantes obtenidas.

Tras esa modificación no se realizará un nuevo proceso de validación psicológica previa al experimento debido a la imposibilidad por falta de recursos. Por lo tanto se procede al desarrollo del experimento.

2.4 Sub Fase 1.3 (Evaluación del Experimento)

2.4.1 Experimento de medición de la atención

Para llevar a cabo el experimento se realizó la planificación que puede verse en la Figura 5.

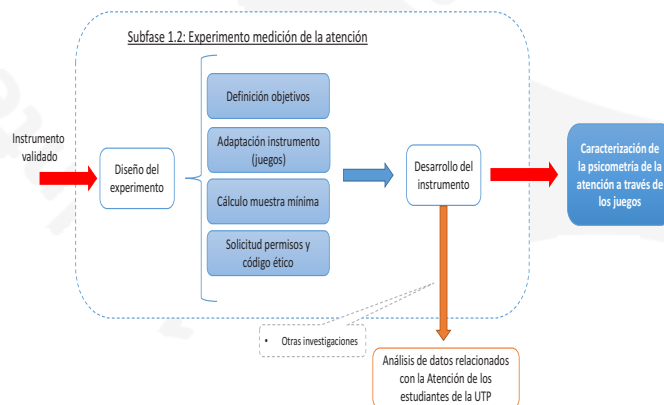


Figura 5. Planificación del experimento.

2.4.2 Objetivos y contexto del experimento

El experimento se ideó para cumplir diversos objetivos relacionados con el estudio. Sin embargo también se incorporaron otros objetivos adicionales relacionados con el entorno en el que se llevó a cabo o con otras futuras investigaciones. Los principales objetivos definidos son:

- Medición transversal del estado de atención en estudiantes. Además se medirá con tres condiciones ambientales distintas: ruidoso, académico o natural.
- La muestra debe ser significativa en términos de validez del test.
- Caracterización de los elementos más interesantes de los juegos desde el punto de vista de control de acceso.
- Evaluación de cuestiones adicionales a la atención. La logística necesaria para implementar el experimento es elevada por lo que se aprovecharán los recursos movilizados para recabar más información que ayude a investigaciones posteriores.

El experimento se llevó a cabo en Universidad Tecnológica de Panamá, Víctor Levi Saso, en las facultades de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Industrial, Eléctrica y Ciencia y Tecnología, en el periodo comprendido del lunes 31 de marzo al viernes 4 de abril del 2014.

2.4.3 Adaptación del instrumento a objetivos

Como se comentó previamente debido a la importante cantidad de recursos necesarios para llevar a cabo el experimento no solo se llevará a cabo la medición transversal de la atención sino que además se aprovechará la logística para obtener más información. Por un lado se solicitará al individuo que aporte datos personales y de hábitos que permitan un posterior análisis de los niveles de atención en función de varios aspectos. Por otro lado, tras finalizar los juegos, se realizará un test de usabilidad referente a los propios juegos.

2.4.4 Tipo de investigación asociada al experimento

El experimento realizado corresponde a un tipo de investigación denominada cuasi-experimental. Las investigaciones cuasi-experimentales se basan en la manipulación intencionada de las variables independientes con el propósito de observar y analizar el efecto que produce esta alteración sobre las variables dependientes. La asignación de los sujetos a los grupos de experimentación no se realiza al azar, siendo esta última característica la que los diferencia de los diseños verdaderos. Los cuasi experimentos difieren de los experimentos verdaderos en la equivalencia inicial de los grupos.

En nuestro caso de estudio, no es posible aplicar el diseño experimental, debido a la naturaleza de la investigación la cual es de índole psicológica al querer medir los niveles de atención a través de una plataforma de juegos serios. Además los grupos sujetos de investigación no fueron afectados por una distribución uniforme correcta tomando en cuenta la aleatoriedad de los sujetos en base a sexo, edades, estudios, condiciones familiares, sociales y económicas, etc.

Además de ser un estudio cuasi-experimental también es de tipo transversal. Los estudios transversales se caracterizan por:

- Los individuos son observados únicamente una vez, ya que no se aplica más de dos veces el instrumento al mismo individuo.
- Se utilizan cuando el objetivo es analizar los datos obtenidos de un grupo de sujetos. En este caso medimos los niveles de atención de los participantes al interactuar con la plataforma de juegos serios.
- El tiempo para la recolección de datos, no tiene límites ya que los sujetos de estudio, se le da la opción para que realicen la prueba a su ritmo.

En los estudios de tipo transversal todas las mediciones se hacen en una sola oportunidad por lo que no existen períodos de seguimiento. Con este diseño, se efectúa el estudio en un momento determinado de los niveles de atención de la muestra.

Además, la prueba se realizó en base al tipo de test de poder. Éste, mide el conocimiento del sujeto para desarrollar la prueba, sin la presión del tiempo. Los sujetos del estudio no tuvieron limitación temporal. Se les pide que hagan el mejor desempeño posible sin preocuparse en absoluto del tiempo que se gasta. La calificación se basa en la capacidad para responder correctamente las preguntas independientemente del tiempo.

2.4.5 Solicitud de permisos y código ético

La elaboración de un experimento del alcance presentado requiere, además de una cuidadosa planificación, la obtención de los permisos necesarios así como un cuidado código ético de obligado cumplimiento.

El código ético permite informar a las personas participantes en el estudio de las condiciones en las que se producirá la obtención de datos y su posterior tratamiento así como del objetivo perseguido. Además no solo es necesario enunciar adecuadamente estos principios directores del estudio sino que es necesario asegurarse que los individuos involucrados han entendido adecuadamente todas las cláusulas.

Con ese objetivo se creó un código ético que fue incluido en la aplicación final utilizada para realizar el experimento. El código es lo primero que los individuos participantes leen y deben entender y aceptar sus principios para poder seguir con el experimento.

III. RESULTADOS

3.1. Instrumento de medida (juegos)

3.1.1. *Diseño inicial de los juegos:* Uno de los hitos fundamentales en el proceso de desarrollo de los juegos fue la obtención de la primera versión sobre la que se realizaría un experimento previo de validación. Esta primera versión se llevó a cabo siguiendo los criterios psicológicos y de usabilidad expuestos en el capítulo de método. Inicialmente fueron desarrollados siete juegos distintos. Cada uno de los juegos medía, dentro de la atención, un constructo más

específico. En concreto se crearon juegos para medir los siguientes constructos (algunos median más de uno y otros repetían el mismo constructo):

- Atención general y resistencia a la fatiga
- Atención visual o focal
- Atención alternante
- Atención selectiva
- Atención sostenida

Además se impuso un tiempo límite para solucionar los juegos. A continuación se muestran capturas de pantalla de algunos juegos seleccionados.

Haga click en los globos de menor a mayor tamaño.

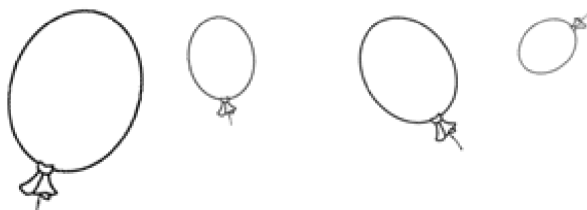


Figura 6. Juego orientado a la atención sostenida y selectiva.

3.1.2 Validación de los juegos en experimento previo

El experimento previo fue validado desde el punto de vista de la psicología y también desde el punto de vista de la usabilidad. El objetivo del experimento previo era realizar una validación previa al experimento posterior y no la medición del constructo en sí. Por tanto la validación psicológica que se hizo debe ser entendida como elementos indicadores del grado de adecuación del instrumento que nos permitieron evaluar cuánto debíamos cambiar el diseño original.

La evaluación psicológica que se hizo fue similar a la presentada en el instrumento (puede ser consultada en el capítulo del método). En este sentido con una muestra de 83 individuos se obtuvieron unas medidas de KR_{20} de 0.3115 y una matriz de correlación que mostraba que los distintos juegos no estaban suficientemente relacionados. Si bien los resultados pueden ser engañosos por el tamaño de la muestra la realidad es que no se alcanzaron unas cotas mínimas aceptables para continuar con el experimento.

Tras este proceso se realizó una validación de usabilidad de forma conjunta por expertas en HCI y en psicología.

3.1.3. Modificaciones y versión final

Se modificaron dos juegos más de forma que su formulación queda mejor expresada (Figura 7).

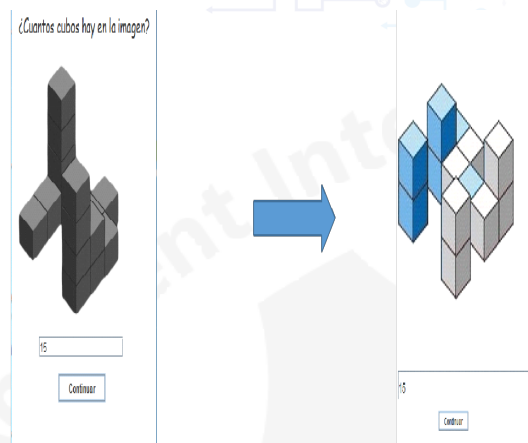


Figura 7. Modificación de juegos tras la validación.

Tras este proceso, con el instrumento mejorado, se obtuvo en instrumento final con el que se realizó el experimento que será explicado posteriormente.

Un cambio importante fue eliminar el tiempo máximo para pasar los juegos.

3.1.4 Aplicación para la realización del experimento

Tras la validación del documento se llevó a cabo la aplicación final. Como se comentó en el capítulo del método, dada la envergadura del experimento, se incluyeron otro tipo de preguntas orientadas a realizar un análisis posterior de la relación de la tecnología con el nivel de atención de los estudiantes así como una validación de la aplicación final.

3.1.5 Fase de Juegos

Posteriormente se presenta al individuo los siete juegos orientados a evaluar su nivel de atención. Ya se han mostrado ejemplos en capítulos anteriores por lo que no se mostrarán más capturas.

3.1.6 Obtención de datos para evaluar la usabilidad

Finalmente se llevaron a cabo varias preguntas destinadas a evaluar la usabilidad del instrumento. Esta evaluación está fuera del alcance de esta investigación por lo que sus conclusiones no serán mostradas.

3.1.7 Resultados del experimento

El experimento se llevó a cabo en Universidad Tecnológica de Panamá, Víctor Levi Saso, en las facultades de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Industrial, Eléctrica y Ciencia y Tecnología, en el periodo comprendido del lunes 31 de marzo al viernes 4 de abril del 2014.

Debido a la naturaleza de la investigación de índole cuasi experimental la distribución de la muestra no fue uniforme, a continuación se muestra en la Tabla 4 como quedó distribuida la muestra a lo largo del experimento.

Tabla 1. Población Evaluada.

Facultad	Total	Porcentaje población	Porcentaje muestra
Eléctrica	75	4.38	14.45
Sistemas	388	17.97	74.95
Industrial	21	0.60	4.05
Ciencia y Tecnología	34	7.74	6.55
Total	518		100 %

Como puede verse en la tabla 1, el número total de participantes en el experimento fue de 518 estudiantes. Este número es superior al tamaño de muestra calculado en el capítulo de método para un nivel de confianza del 98 % (472 individuos).

3.1.8 Validación de la confiabilidad psicológica del instrumento.

Como la muestra fue calculada anteriormente el instrumento quedará validado mediante su validez y fiabilidad.

Fiabilidad del instrumento.

Como se comentó en el capítulo relacionado con el método el cálculo de la fiabilidad (también llamada confiabilidad) da una idea de la ausencia de errores de medida a la hora de interpretar o inferir un determinado resultado. Dado que los distintos juegos tienen una respuesta dicotómica, la alfa de Cronbach se particulariza a un valor que hace aplicable el cálculo del KR20 para la obtención de la fiabilidad. El cálculo de la fiabilidad con este procedimiento queda:

Fórmula general:

$$KR_{20} = \left(\frac{N}{N-1} \right) * \left(\frac{\sigma^2 - \sum p * q}{\sigma^2} \right) \quad (2)$$

$$KR_{20} = \left(\frac{518}{518-1} \right) * \left(\frac{22,89907723 - 1,137222164}{22,89907723} \right) = 0,9520$$

Tras la aplicación de este procedimiento el valor obtenido para el KR-20 es de 0,9520. Este valor supera al umbral mínimo impuesto en la planificación del experimento: 0,8. Con este valor se puede concluir que el diseño modificado de los juegos iniciales tras las sugerencias de los psicólogos y las recomendaciones del grupo de expertos de HCI ha mejorado la fiabilidad del sistema.

3.1.9 Validación de la Validez del instrumento.

Para el cálculo de la validez del instrumento se ha utilizado, tal y como se describió en el capítulo del método, un análisis factorial. En este análisis se han considerado siete variables independientes (una por juego) y el objetivo fijado es que exista una correlación elevada entre todas las variables (ya que todas miden el mismo constructo).

A continuación se muestra la matriz de correlaciones obtenida tras la ejecución del experimento:

Tabla 2. Matriz de correlaciones.

		Matriz de correlaciones						
		VA R1	VA R2	VA R3	VA R4	VA R5	VA R6	VA R7
Correlación	VAR1	1,00	,701	,667	,664	,346	,711	,570
	VAR2	,701	1,00	,899	,897	,665	,934	,824
	VAR3	,667	,899	1,00	,886	,682	,931	,815
	VAR4	,664	,897	,886	1,00	,647	,916	,802
	VAR5	,346	,665	,682	,647	1,00	,704	,561
	VAR6	,711	,934	,931	,916	,704	1,00	,847
	VAR7	,570	,824	,815	,802	,561	,847	1,00

La correlación entre las distintas variables es elevada por lo que podemos concluir que para el objetivo buscado los juegos desarrollados son válidos. Como ha ocurrido en el caso de la fiabilidad, la medida de la validez ha superado a la llevada a cabo en el experimento previo tras las sugerencias de los psicólogos y las recomendaciones del grupo de expertos de HCI.

IV. DISCUSIÓN

La investigación llevada a cabo ha estado relacionada con la medición de las capacidades de atención de individuos y su aplicación a arquitecturas de control de acceso. Para ello se ha involucrado alrededor de 600 estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá así como varios expertos de la rama de la psicología, HCI y seguridad telemática.

4.1.1. Validación de las hipótesis

Es posible evaluar algunos aspectos del estado psicológico de una persona mediante una aplicación informática basada en juegos serios.

Esta hipótesis es cierta, ya que se comprobó su veracidad a través del método global de toda la investigación.

En la fase de desarrollo del instrumento que mediría la atención en nuestro caso de estudio, en la sub fase de pre - experimentación, los indicadores de la fiabilidad y de validez, arrojaron datos del 31 % de fiabilidad, y la correlación de las variables era muy baja usando el método de análisis factorial que mide la validez del instrumento.

Al analizar las puntuaciones de cada ítem por separado (juegos serios), se observó que las puntuaciones obtenidas eran demasiadas de bajas, esto se debió al mal diseño de la interfaz gráfica. Además se les indico a los individuos que formaban parte del pre experimento, que terminaran las pruebas en el menor tiempo posible, con esta condición se trató de obtener un promedio general de los tiempos, en base a la rapidez con que respondían.

Se procedió entonces a modificar cada ítem en base a las sugerencias de los expertos de HCI (Ph.d Elba Valderrama y Ph. D Sussan Drey) y del grupo de expertos en psicología (Licda. Artemia Victoria y Licda. Rita Bello).

En la fase experimental de la investigación, tuvo como resultados satisfactorios, dado que los indicadores de indicadores de la fiabilidad y de validez, arrojaron datos del 95 % de fiabilidad y la correlación de las variables era muy alta. Ya que se tomaron en cuenta las sugerencias de los expertos para las mejoras al instrumento.

Esto nos indica que los aspectos de HCI y de psicología son fundamentales para el desarrollo de interfaces, en desarrollo de plataformas de juegos serios que miden un determinado constructo.

Sin embargo hay que considerar, que dependiendo de la población que se pretende medir y de la tarea crítica, se deben desarrollar adecuadamente el instrumento (plataforma de juegos) para el caso de estudio.

Un aspecto que se debe resaltar en este punto, que solo se aplicaron dos veces el instrumento a diferentes muestras, y que a lo largo de la investigación se usó el modelo transversal para realizar las mediciones.

Esto fue debido a que el grupo de expertos en psicología nos recomendaron que, por cada vez que se aplicara un nuevo diseño del instrumento se usara una muestra distinta, ya que se podrían contaminar los resultados con los conocimientos relacionados previamente con el instrumento.

Pero en un ámbito real donde se aplica el instrumento para obtener datos de los usuarios que usan sistemas telemáticos en donde se desarrollan procesos críticos, se debe utilizar el modelo longitudinal para la recolección de las muestras.

V. CONCLUSIONES

Nuestros resultados muestran que es factible transformar pruebas psicométricas de la atención en implementaciones computacionales del tipo juegos serios y por tanto incluir los resultados de esta medida en un proceso computacional más complejo, como puede ser la autenticación en sistemas informáticos.

La utilización de juegos serios favorece la comprensión de las pruebas de medida planteadas debido a que los usuarios están familiarizados con el concepto de juego y utilizan dichos servicios de una forma intuitiva. Este tipo de prueba, además, establece una relación de confianza entre el usuario y la tarea que debe realizar debido a que tiene en cuenta el estado actual de la persona.

La transformación de las pruebas psicométricas de la atención en juegos serios permite computar los resultados de dichas pruebas e incluirlos en un sistema computacional complejo.

REFERENCIAS

- [1] Diseño e implantación de arquitecturas informáticas seguras. Una aproximación práctica, 2006, pag 25, ISBN: 978-84-9849-884-X.
- [2] <http://problema.blogcindario.com/2008/10/00014-marco-teorico.html>. Ultima fecha de actualización 17/8/2014.
- [3] http://fcaenlinea1.unam.mx/apuntes/interiores/docs/2011/informatica/1/informatica_i.pdf. Ultima fecha de actualización 10/8/2014.
- [4] <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/30783/1/D.%20cuasi%20y%20longitudinales.pdf>. Ultima fecha de actualización 10/4/2014.
- [5] <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/30783/1/D.%20cuasi%20y%20longitudinales.pdf> pag – 3. Ultima fecha de actualización 04/8/2014.
- [6] <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/30783/1/D.%20cuasi%20y%20longitudinales.pdf> pag – 4. Ultima fecha de actualización 01/8/2014.
- [7] <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/30783/1/D.%20cuasi%20y%20longitudinales.pdf> pag -6. Ultima fecha de actualización 07/07/2014.
- [8] http://www.utp.ac.pa/documentos/2014/pdf/Cuadro03_1erSem14.pdf. Ultima fecha de actualización 17/04/2014.
- [9] <http://www.itu.int/itudoc/itu-t/85097-es.pdf> pag -51. Ultima fecha de actualización 13/6/2014.

Clase Red de Petri para Usos de Recursos Binarios Ordenados

Carlos A. Rovetto

Dpto. de Ciencias de la Computación
Universidad Tecnológica de Panamá
carlos.rovetto@utp.ac.pa

Tomás J. Concepción

Dpto. de Ciencias de la Computación
Universidad Tecnológica de Panamá
tomas.concepcion1@utp.ac.pa

Elia E. Cano

Dpto. de Ciencias de la Computación
Universidad Tecnológica de Panamá
elia.cano@utp.ac.pa

Resumen-La prevención/evitación de los bloqueos mutuos es un dominio de investigación activo que exige aplicar diversas políticas de control para hacer frente a este problema. En este artículo presentamos una subclase de Red de Petri especializada llamada *Clase red de petri para usos de recursos binarios ordenados (BORPN)* y sus principales propiedades estructurales. En esencia se trata de una clase ordinaria construida a partir de diversas máquinas de estados que comparten recursos unitarios en forma compleja, lo que permite bifurcación y procesos de unión. Su estructura reducida da ventajas que permiten el análisis de todo el comportamiento del sistema, siendo una tarea prohibitiva para grandes sistemas debido a la complejidad como los algoritmos de enrutamiento.

Palabras claves: *Redes de Petri, clase BORPN, bloqueo mutuo, Sistemas de Asignación de Recursos, sifones.*

I. INTRODUCCIÓN

El concepto de vivacidad está estrechamente relacionado con la ausencia de bloqueos en los sistemas, por lo cual la propiedad de vivacidad es aquella que establece que el sistema **debe** alcanzar todos los estados para lo que fue diseñado. Esta es una propiedad deseable en sistemas concurrentes que comparten recursos en forma simultánea, porque permite alcanzar todos los estados del sistema. Desde el punto de vista de los sistemas de asignación de recursos, el objetivo es garantizar que se alcanzarán todos los estados deseados utilizando los recursos solicitados por el sistema durante un tiempo determinado. La perspectiva de *Sistemas de Asignación de Recursos (RAS)* será utilizada para modelar los sistemas a través del modelo de Red de Petri, por lo tanto, los recursos se utilizan en forma conservadora, es decir que no se crean ni se destruyen. Un bloqueo mutuo se produce si un estado del sistema se vuelve infinitamente inalcanzable por una solicitud de recursos sin respuesta. Como se sabe, una red de Petri es una técnica formal, gráfica y ejecutable para la especificación y análisis de sistemas dinámicos de eventos discretos concurrentes. En este trabajo, la vivacidad se garantizará utilizando el modelado y análisis de las Redes de Petri porque los bloqueos mutuos se producen con más frecuencia en los sistemas con concurrencia, que son mejor descritos por las Redes de Petri. Además, las posibilidades de modelado de las redes de Petri no están limitados por la tecnología debido a que es un modelo matemático con una representación gráfica utilizando un grafo bipartito.

Normalmente, la manera de sintetizar y analizar sistemas concurrentes utilizando Redes de Petri es a través de las subclases con fortalezas para abordar problemas específicos. Por lo tanto, vamos a definir una subclase de las redes de Petri llamado *Clase Red de Petri para Usos de Recursos Binarios Ordenados (BORPN)* que es una subclase de clases previamente existentes que han sido utilizados para abordar los problemas de bloqueo mutuo como el S^4PR [1] [2] y las clases de Redes de Petri ES^3PR [3].

Es bien conocido que ésta estructura reducida nos permite mejorar los algoritmos para analizar el modelo de Red de Petri, por lo tanto conciliar las habilidades que describen el modelo de Red de Petri, mientras se evitan extensos cálculos lo cual es un deseo siempre presente en la literatura. Una estrategia similar se menciona en los enfoques [4] [5] en donde se utilizaban cálculos booleanos para evitar operaciones complejas. Intuitivamente, los *Diagramas de Decisiones Binarias Ordinarias (OBDD)* se han utilizado como estructuras de datos que pueden codificar compactamente muchas funciones en dominios estructurados discretos como [6] [7]. La clase *BORPN* es una clase especializada con una estructura reducida que enfrentan el problema de bloqueo mutuo de una amplia gama de sistemas distribuidos, en particular en los algoritmos de enrutamiento. Su estructura refuerza los algoritmos durante el proceso de análisis porque evita el gasto de memoria en las operaciones grandes de cálculo para detectar objetos estructurales como sifones.

Como muestra la muy conocida propiedad de Commoner, objetos estructurales como los sifones están estrechamente relacionados con algunas de las propiedades de comportamiento básicas de las Redes de Petri, como la vivacidad y la ausencia de bloqueos activos, en donde una parte del sistema funciona pero otra permanece bloqueada. El análisis estructural nos permite demostrar algunas propiedades como los sifones para asegurar la vivacidad del modelo, sin embargo, es un proceso muy costoso en memoria de computador o incluso, imposible debido al problema de la explosión estados. Varios métodos permiten reducir el número exponencial de cálculos como ecuaciones lineales o desigualdades, órdenes parciales, simetrías, diseño modular. Un nuevo enfoque se presenta en [8] que trabaja con objetos de nivel más alto, evitando el

desperdicio memoria en los pasos intermedios. El método se apoya en la teoría de grafos a través de las manipulaciones de los subgrafos máximos fuertemente conectados de la gráfica [9]. Este artículo está organizado de la siguiente forma. Sección II incluye la definición de clase *BORPN* y sus propiedades básicas. Para asegurar la propiedad de vivacidad de esta clase Petri Net se dedica la sección III, incluyendo un ejemplo del uso de esta clase de Petri Net través de un ejemplo de enrutamiento básico. Sección IV presenta las conclusiones y finalmente el apéndice A incluyen definiciones básicas y notaciones de las Redes de Petri lugar transición.

II. DEFINICIÓN DE LA CLASE Y PROPIEDADES

A. Clase Red de Petri para Usos de Recursos Binarios Ordenados

Durante esta sección vamos a introducir la clase *BORPN* y sus principales propiedades. Esta clase es una subclase de las clases S^4PR [1] [2] y los ES^3PR [3] de Redes de Petri, por lo tanto, todos los resultados teóricos existentes para estas redes se pueden aplicar para esta subclase, sin embargo el razonamiento contrario no es posible. La clase *BORPN* tiene una valiosa información estructural dada por su estructura reducida que será utilizada para el análisis de las propiedades de comportamiento del modelo como la vivacidad. Estas nuevas características provienen de la restricción impuesta a las transiciones de la clase *BORPN*, porque sólo realiza operaciones binarias. Cada transición podría tomar o liberar recursos en forma unitaria, de forma muy similar al comportamiento de un algoritmo de enrutamiento como los de tipo *wormhole* que solicitan y liberan los canales como recursos para transportar los mensajes en forma de cadenas de bits ó flits. La clase *BORPN* se define de la siguiente manera:

Definición 1 (La clase de Red de Petri de Recursos Binarios Ordenados). Digamos que $I_N = \{1, 2, \dots, m\}$ es un conjunto finito de índices. Una Red de Petri de Recursos Binarios Ordenados es una red de Petri fuertemente conectada, libre de ciclos propios $\mathcal{N} = \langle P, T, C \rangle$ donde:

- 1) $P = P_0 \cup P_S \cup P_R$ es una partición tal que:
 - a) $P_S = \bigcup_{i \in I_N} P_{S_i}$, $P_{S_i} \neq \emptyset$ y $P_{S_i} \cap P_{S_j} = \emptyset$, para toda $i \neq j$.
 - b) $P_0 = \bigcup_{i \in I_N} \{p_{0_i}\}$.
 - c) $P_R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, $n > 0$.
- 2) $T = T_a \cup T_r$ es una partición tal que:
 - a) $T_a = \bigcup_{i \in I_N} T_{a_i}$, $T_{a_i} \neq \emptyset$, $T_a \in P_R^\bullet$, para cada $i, j \in I_N$ $T_{a_i} \cap T_{a_j} = \emptyset$, para toda $i \neq j$
 - b) $T_r = \bigcup_{i \in I_N} T_{r_i}$, $T_{r_i} \neq \emptyset$, $T_r \in \bullet P_R$, para cada $i, j \in I_N$ $T_{r_i} \cap T_{r_j} = \emptyset$, para toda $i \neq j$
- 3) Para toda $i \in I_N$, la subred \mathcal{N}_i generada por $P_{S_i} \cup \{p_{0_i}\} \cup T_{a_i} \cup T_{r_i}$ es una máquina de estado fuertemente conectada, tal que cada ciclo contiene p_{0_i} e induce un Semiflujo-T mínimo.
- 4) Para cada $r \in P_R$ existe un Semiflujo-P mínimo, $\mathbf{Y}_r \in \{0, 1\}^{|P|}$, tal que $\{r\} = \|\mathbf{y}_r\| \cap P_R$, $\mathbf{y}_r[r] = 1$, $P_0 \cap \|\mathbf{y}_r\| = \emptyset$, y $P_S \cap \|\mathbf{y}_r\| \neq \emptyset$.
- 5) $P_S = \bigcup_{r \in P_R} (\|\mathbf{y}_r\| \setminus \{r\})$.

Todo el modelo de red de Petri *BORPN* está compuesto por diversas redes fuertemente conectadas denotadas por \mathcal{N}_i donde $i \in \mathbb{N}^*$. Una red de Petri libre de auto-bucles existe sii $\forall t \in T \ | \bullet t \cap t^\bullet = \emptyset$. En la figura 2 cada máquina de estado (SM) corresponde a una subred que forman una sola red de Petri *BORPN*. Debido a que los problemas de bloqueo mutuo están relacionados a estados inalcanzables producido por diversos procesos que de forma simultánea retienen y solicitan recursos generando un auto-bucle que no permite ninguna evolución de los procesos. Como muestra la definición 1 apartado 1 los lugares P son particionados en tres grupos representando el: a) los lugares de proceso P_S , b) lugares reposo P_{0_i} representando los mensajes en espera c) recursos P_R . Los lugares de recursos representan la disponibilidad del recurso y no puede ser creado o destruido por los procesos. La estructura de la clase *BORPN* impone que cada ciclo contiene los lugares desocupados P_0 . Si un proceso comienza adquiere un token reposo y debe terminar, por lo que el token del lugar reposo debe retornar. Durante la evolución del proceso diversos recursos pueden ser utilizados, sin embargo deben ser liberados cuando el proceso finalice. La propiedad de vivacidad se busca para garantizar la terminación de los procesos y así tener el sistema libre de bloqueos mutuos. Cada proceso requiere el uso de al menos un recurso, sin embargo deben ser adquiridos o liberados en forma unitaria. Por el motivo anterior el componente \mathbf{Y}_r es un vector booleano debido al comportamiento peculiar de esta red.

Las transiciones en una *BORPN* tiene un comportamiento particular siguiendo nuestra enfoque de los procesos. Nosotros consideramos que el comportamiento del proceso se asemeja a una tubería, donde puede ser particionada en unidades de proceso. La primera unidad de proceso en adquirir los recursos es la última unidad en liberarlos. Esta aproximación restringe el comportamiento de las transiciones y nos permite modelar con más fidelidad sistemas particulares a diferencia de aproximaciones tradicionales. Por lo tanto, somos capaces de modelar la transportación de objetos (*mensajes, items, etc*) a través de redes o centros de distribución de almacén. La definición 1 apartado 2 está relacionada con las transiciones que están particionadas en dos conjuntos disjuntos. Transiciones T_a y T_r que significan adquirir y liberar respectivamente, por consiguiente $\forall \{t_i, t_j\} \in T$ tanto que $|\bullet t_i \cap P_R| = 1$ y $|t_j^\bullet \cap P_R| = 1$ donde $i \neq j$. Sin embargo, esta restricción permite ni impide las bifurcaciones, siendo una característica útil para representar sistemas complejos en donde se presentan problemas de bloqueos mutuos. En [10] donde se prueba que una máquina de estado fuertemente conectada $\|\bullet t\| = \|t^\bullet\| = 1$ esta viva, por lo que induce una propiedad invariante en la conservación de las marcas en los lugares. Para una *BORPN* esta propiedad, que se encuentra en la definición 1 apartado 3, donde para todos los $i \in I_N$, la subred \mathcal{N}_i generada por $\mathcal{N}_i = \langle P_{0_i} \cup P_{S_i}, T_{a_i} \cup T_{r_i}, C_i \rangle$ donde $i \in \mathbb{N}^*$ es una máquina de estado fuertemente conectada, tal que cada ciclo contiene un lugar p_{0_i} . Cada ciclo conteniendo el lugar reposo cierra un circuito que induce un Semiflujo-T en ese camino. Finalmente

en la definición 1, los apartados 4 y 5 están relacionados con las propiedades estructurales invariantes de los recursos y lugares *reposo* respectivamente. De esta forma, para cualquier $r \in P_R$ existe un mínimo *Semiflujo-P* donde $\mathbf{Y}_r \in \{0, 1\}^{|P|}$. Los lugares de proceso unidos con el recurso r son conocidos como lugares portadores \mathcal{H} . Estos lugares cargan la disponibilidad de los recursos mientras representan un estado de proceso, como lo muestra la definición 2.

Definición 2. Consideremos que \mathcal{N} sea una BORPN y P_R El conjunto de lugares de recursos. El conjunto de lugares portadores \mathcal{H} de r es el soporte del *Semiflujo-P* mínimo sin el recurso $\mathcal{H}_r = \|\mathbf{Y}_r\| \setminus \{r\}$ donde $r \in P_R$.

Una BORPN es una máquina de estado fuertemente conectada con recursos, por lo tanto todas sus transiciones tienen un único lugar de proceso entrada/salida y tendrían un único lugar de recurso entrada/salida. De esta manera, las transiciones podrían ser caracterizadas como *habilitadas* o *deshabilitadas*, a través del marcado del lugar de recurso como se muestra en la figura 1 y es formalizado en las definiciones 3 and 4.

Definición 3. Consideremos que \mathcal{N} sea una BORPN, siendo P_R el conjunto de lugares de recursos y P_S el conjunto de lugares procesos. Una transición $t \in T$ está habilitado en el marcado de proceso o (deshabilitado en el marcado de proceso) resumido **mpe** o (**mpe**) sii $\forall p \in \bullet t \cap P_S$ el marcado M de p como $M(p) \geq PRE(p, t)$ o $(M(p) < PRE(p, t))$.

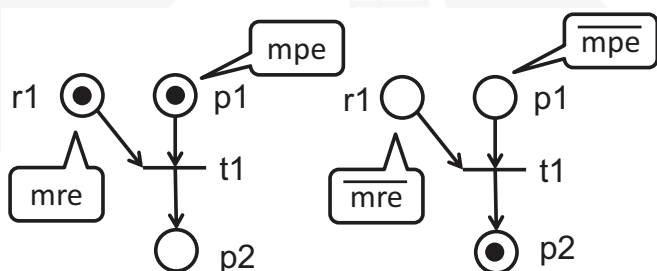


Figura 1. Marcado de recursos y procesos habilitado y deshabilitado.

Definición 4. Consideremos que \mathcal{N} sea una BORPN, siendo P_R el conjunto de lugares de recurso y P_S el conjunto de lugares de proceso. Una transición $t \in T$ está habilitado en el marcado de recursos o (deshabilitado en el marcado de recursos) resumido **mre** o (**mre**) sii $\forall p \in \bullet t \cap P_R$ el marcado M de r como $M(r) \geq PRE(r, t)$ o $(M(r) < PRE(r, t))$.

Para transiciones que liberan recursos T_r es suficiente el **mpe** marcado para que sean disparadas, sin embargo para el conjunto que adquieren recursos T_a deben estar **mre** y **mpe** para poder ser disparadas. La transición t_1 de la parte izquierda de la figura 1 está *habilitada en el marcado de proceso y habilitado en el marcado de recursos*, contrario a la transición de la parte derecha que está *deshabilitada en el marcado de proceso y deshabilitada en el marcado del recurso*. Un camino es un *Semiflujo-T* de \mathcal{N} como \mathbf{X} , donde por cada $\|\mathbf{X}\| = 2$ no

satisface una de las cuatro condiciones necesarias y suficientes para la existencia de un bloqueo mutuo en [11]. Este tipo de ruta no tiene la *condición Retención y Espera* porque sólo solicita un recurso para finalizar el proceso completo. Por lo tanto, cada lugar p_i que pertenece a este tipo de *Semiflujo-T* es como sigue: $\forall p \in P_S \cap \mathcal{H}_r \mid \bullet p \cap \bullet \neq \emptyset \wedge p \cap \bullet \neq \emptyset$ donde $r \in P_R$. Debido a la estructura de la clase BORPN, algunos lugares nunca se incluiren en una situación de bloqueo mutuo y se conocen como *lugares-sin-bloqueo-mutuo*.

Definición 5. Consideremos que \mathcal{N} sea una clase BORPN, siendo P_R el conjunto de lugares de recurso y P_S el conjunto de lugares de proceso. Un lugar $p_i \in P_S$ es llamado *lugares-sin-bloqueo-mutuo* sii $p_i \cap \bullet P_R \neq \emptyset$

Los lugares que satisfacen la definición 5 serán disparados cuando tengan el marcado *mpe*, por lo que nunca pertenecen a un estado de bloqueo mutuo, sin embargo pueden formar parte estructural de un sifón.

B. Clase BORPN

La nueva clase es definida para enfrentar problemas de bloqueo mutuo en sistemas concurrentes siguiendo nuestro enfoque *RAS* de los procesos. La BORPN es una clase ordinaria de red de Petri donde el *Semiflujo-P* de un recurso es un vector binario, por lo que existe un camino dirigido entre las transiciones que toma el recurso y las transiciones que lo liberan.

Definición 6 (Un camino dirigido). Un camino dirigido es una secuencia de lugares y transiciones $p_1 t_1 p_2 t_2 \dots p_k t_k$ tal que $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ desde p_1 hasta p_k donde $t_i \in p_i \cap P_S$ y $t_i \in \bullet p_{i+1} \cap P_S$, para $1 \leq i \leq k$ y $\{i, k\} \in \mathbb{N}^*$

Cuando este camino dirigido es relacionado con una clase BORPN es conocido como la *zona de un recurso* como muestra la definición 7. Esta característica es muy importante para evitar análisis estructural extensivo del modelo de red de Petri.

Definición 7 (Zona de un recurso). Consideremos que $\mathcal{N}_i = \langle P_i, T_i, C_i \rangle$, $i \in \mathbb{N}^{*|\mathcal{N}|}$ sea una BORPN y P_R el conjunto de recursos. La zona de un recurso es el conjunto de lugares portadores de $r \in P_R$ que intercepta la red \mathcal{N}_i como $Z_{i,j}^r = \mathcal{H}_r \cap \mathcal{N}_i$, donde $i \in \mathbb{N}^{*|\mathcal{N}|}$ y $j \in \mathbb{N}^{*|P|}$.

El subíndice i representa la clase BORPN y si existe más de una zona el subíndice j se incrementará. Cuando el índice j es omitido, asumimos solo una zona para este recurso. En procesos lineales existe solo un camino dirigido entre la captura y liberación del recurso, sin embargo para procesos no-lineales existiría más de una captura o liberación del recurso. El corolario 1 declara la estructura existente para una zona en procesos lineales.

Corolario 1 (Zona de recurso en procesos lineales). Consideremos que \mathcal{N} sea una BORPN con solo procesos lineales, donde P_R es el conjunto de lugares de recurso. Consideremos que $Z_{i,j}^r = \{p_1, \dots, p_k\}$, tal que $k \in \mathbb{N}^{*|P|}$ la zona de un recurso r en la red \mathcal{N}_i para $j=1$. El lugar $p_x \in \|\mathbf{Y}_r\|$, $\forall x=1, \dots, k$,

donde $(p_x)^\bullet \cap \|\mathbf{Y}_r\| = P_{x+1}$. Por lo que $\nexists s$ tal que $p_1 \in \mathcal{Z}_{i,1}^s$ y $p_k \in \mathcal{Z}_{i,2}^s$.

En una máquina de estado fuertemente conectada podría existir procesos no-lineales, por lo que en esta red la zona de un recurso debe ser generalizada para considerar diferentes tomas y liberaciones de los recursos. Debido al enfoque RAS del proceso los lugares de la primera parte del proceso son del conjunto S_A donde A significa *adquiriendo*. Los lugares que se mantienen en la última parte del proceso pertenecen al conjunto S_R , en donde R significa *liberando*. El corolario 2 describe la estructura para una zona en procesos no-lineales.

Corolario 2 (Zona de recurso en procesos no lineales). *Dejemos que \mathcal{N} sea una BORPN con procesos no lineales, donde P_R es el conjunto de recursos y $\{r, s\} \in P_R$. Consideremos $\mathcal{Z}_{i,j}^r = (S_A \cup S_R)$, donde $\bullet S_A \subseteq r^\bullet$, $S_R^\bullet \subseteq r$. De esta manera, $\forall p_i \in S_A, \exists p_j \in S_R$ tal que $(p_i)^\bullet \cap \|\mathbf{Y}_r\| = p_j, \forall i \neq j$. Por lo que, $\nexists s$ tal que $\exists p_x \in \mathcal{Z}_{i,1}^s \cap S_A$ y $\exists p_k \in \mathcal{Z}_{i,2}^s \cap S_R, \forall x \neq k$*

La zonificación de los recursos produciría una superposición sobre las zonas. Cuando una superposición entre diferentes zonas de recursos es conocido como unos *equipos de recursos*. El concepto del equipo viene del punto de vista donde un proceso adquiere/libera diversos recursos en orden estricto. Todos ellos están trabajando juntos durante el progreso del proceso como un equipo. Por otra parte, los equipos son una caracterización de este orden y serán usados para describir la nueva clase BORPN. La definición 8 resume este concepto de *equipo* en una \mathcal{N}_i

Definición 8. *Consideremos que \mathcal{N} sea una BORPN, siendo P_R el conjunto de lugares de recurso. Un equipo es un conjunto de lugares donde $\forall \{r_i, r_j\} \in P_R$, satisfaciendo lo siguiente 1) $\exists P_X \subseteq \|\mathbf{Y}_{r_i}\| \cap \|\mathbf{Y}_{r_j}\| \cap \mathcal{N}_i \neq \emptyset$ y $\bullet P_X \cap P_R \neq P_X^\bullet \cap P_R$. 2) $\exists p_i \in \|\mathbf{Y}_{r_i}\| \cap \mathcal{N}_i \setminus (P_X \cup \|\mathbf{Y}_{r_j}\|) \neq \emptyset$. 3) $\exists p_j \in \|\mathbf{Y}_{r_j}\| \cap \mathcal{N}_i \setminus (P_X \cup \|\mathbf{Y}_{r_i}\|) \neq \emptyset$.*

Este conjunto $P_X \subseteq P_S \cap \mathcal{N}_i$ están en la intersección o superposición entre dos recursos en el modelo de red de Petri, no obstante debe ser un conjunto único. La segunda condición previene más de un conjunto P_X a través de los recursos de entrada y salida. Finalmente, para prevenir subconjuntos entre recursos implicados, un conjunto de lugares particulares debe existir. Un lugar que no pertenece al Semiflujo-P del otro recurso implicado debe existir. Si las condiciones previas son cumplidas, una superposición existe entre todos los recursos implicados y es llamado un *equipo* de recursos. Una red de Petri donde todos los recursos pertenecen a un *equipo* es una clase BORPN y adicionalmente es necesario que todos los lugares de proceso pertenezcan a cualquier recurso Semiflujo-P. Además, para cada transición donde el lugar de recurso r introduce (*el recurso es asignado*), existe un único camino, en la máquina de estado fuertemente conectada, para alcanzar cada transición donde r produce (*el recurso es liberado*).

Definición 9 (Las propiedades de recurso de la clase BORPN). *Una red de Petri es una clase BORPN si todo*

los recursos pertenecen a un Equipo y $\nexists p_i \in P_S$ tal que $p_i \cap \|\mathbf{Y}_r\| = \emptyset, \forall r \in P_R$.

A continuación se muestran algunas características de una clase BORPN y debe ser mencionadas como restricciones de la siguiente manera:

- 1) Los estados iniciales y finales están colapsados en un estado, llamado lugar *reposo*.
- 2) Las opciones entre el camino son permitidas, pero las iteraciones no.
- 3) Los recursos no pueden ser creados ni destruidos.
- 4) Los recursos son compartidos entre los caminos.
- 5) Los lugares de recursos tienen una marca indicando la disponibilidad.
- 6) Un estado pudiese usar varios recursos simultáneamente.
- 7) La asignación de orden de recursos, debe ser el mismo para su liberación.
- 8) Transiciones adquirirían o liberarían recursos pero nunca ambos eventos.

El comportamiento de muchos sistemas pueden ser descritos en términos de estados de sistemas y sus cambios, por lo que estos estados tienen un significado físico. Por lo tanto una *marcación inicial* representa ninguna actividad en el sistema y permite el comienzo de los procesos. La clase de red BORPN es conservativa con los recursos debido al Semiflujo-P, todos las marcaciones alcanzables representarán estados posibles del sistema desde una *marcación inicial* aceptable. Las marcas en lugares P_{0i} representan la máxima cantidad de procesos esperando en la misma red de Petri o máquina de estados. Las marcas en lugares P_R modelan la disponibilidad de recursos, por consiguiente una marca es suficiente para representarlo. El lugar proceso P_S carece de marcas de *marcación inicial* porque la *marcación inicial* representa ninguna actividad del sistema.

Definición 10. *Consideremos que $\mathcal{N} = \langle P_0 \cup P_S \cup P_R, T, C \rangle$ sea una red BORPN. Un marcado inicial \mathbf{m}_0 es aceptable para \mathcal{N} si y solo si:*

- 1) $\forall i \in I_{\mathcal{N}}, \mathbf{m}_0[p_{0i}] > 0$.
- 2) $\forall p \in P_S, \mathbf{m}_0[p] = 0$.
- 3) $\forall r \in P_R, \mathbf{m}_0[r] = 1$.

Para poder aplicar la política de control de prevención de bloqueo mutuo es necesario considerar la *marcación inicial* para el modelo de red de Petri modificado. A diferencia, nuestra política de control de evitación no modifica el modelo de red de Petri, por lo que la *marcación inicial* permanece sin cambios. Para aplicar nuestra política de control de prevención de bloqueo mutuo es necesario agregar diversos recursos virtuales para hacer un modelo de red de Petri libre-de-bloqueo-mutuo, sin embargo esos mantienen la misma *marcación inicial* que en recursos previos.

Al igual, si nuevos lugares de procesos deben ser adicionados, estos permanecen vacíos en *marcación inicial*. Nuestra política de control de bloqueo mutuo no adiciona nuevos procesos al

modelo de red de Petri, por lo que ningun lugar *reposo* será agregado.

III. ANÁLISIS DE VIVACIDAD PARA LA CLASE BORPN

En esta sección, la propiedad de vivacidad es caracterizada por los sifones. Un sifón es un conjunto de lugares que si se vuelven vacíos, permanecan vacíos para siempre. Por lo que, todas las transformaciones de salida de los lugares del sifón vacío estarán muertos para siempre porque por lo menos un lugar de entrada (*que pertenece al sifón*) está vacío para siempre. Sifones vacíos representan una generalización de las esperas circulares, porque en un sifón podemos encontrar una estructura intrincada de ciclos superpuestos de recursos vacíos. En [12] se rompe los sifones al añadir *recursos virtuales* hasta obtener un modelo de red de Petri libre-de-bloqueo-mutuo. En otra aproximación, se evita que los sifones pierdan marcas por la vía de funciones lógicas que garantizan la propiedad de vivacidad hacia el modelo de red de Petri. La clase BORPN tiene diversas propiedades relacionadas con la estructura de los sifones y sus recursos implicado, por lo que el concepto de *clase Red Estructuralmente Segura* será introducido debido a la marcación binaria de los lugares procesos y los lugares recursos. La estructura de la clase BORPN garantiza que todos los estados alcanzables tienen estados booleanos.

Definición 11. *Un sistema de red de Petri \mathcal{N} es llamado clase Red Estructuralmente Segura sii para cada lugar $p \in P_R \cup P_S$, existe un Semiflujo-P $\mathbf{y} \in \mathbb{N}^{*\|P_R \cup P_S\|}$ tal que $p \in \|\mathbf{y}\|$ y $\mathbf{y} \cdot \mathbf{m}_0 \leq 1$.*

Los siguientes resultados afirman que todos los vectores de marcado $\mathcal{R}(\mathcal{N}, \mathbf{m}_0) \setminus \{P_{0i}\} \mid i \in \mathbb{N}^{*|\mathcal{N}|}$ excepto de los lugares *reposo* pertenecen al conjunto $\{0, 1\}$. El lugar *reposo* llena las condiciones necesarias para ser un lugar *implicito* porque todas sus transiciones de entrada tienen otro lugar de entrada. Resultando el marcado de lugares *reposo* podría ser generado desde el marcado de otros lugares. Por lo tanto, reduciendo razonamiento acerca de redes de Petri a cálculo booleano donde la manipulación de marcación podría ser realizada a través de caracterización simbólica como los *Diagramas de Decisión Binaria Ordinaria (OBBDs)*. Una estrategia es reducir el número de elementos que tienen que ser tratados simultáneamente produce una red bien-definida. Esta fuerza para reducir la complejidad y manejar sistemas grandes, sin embargo esta discusión está más allá del alcance de este artículo.

Lema 1. *Consideremos que $\langle \mathcal{N}, \mathbf{m}_0 \rangle$, $\mathcal{N} = \langle P_0 \cup P_S \cup P_R, T, \mathbf{C} \rangle$, sea una red de Petri BORPN. Consideremos que m una marca muerta, tal que $m \in \mathcal{RS}(\mathcal{N}, \mathbf{m}_0)$ y $\tau \subseteq T$ el conjunto de transiciones muertas que pertenecen a m . El conjunto τ llena que $|\tau| > 1$.*

Proof. Probamos este resultado por contradicción.

Supongamos que $|\tau| = 1$ y existe una transición $t \in \tau$ que está muerta en un marcado $m \in \mathcal{RS}(\mathcal{N}, m_o)$. Como t es marcación muerta implica que $t \in \bullet S_A \mid \bullet S_A \in r^\bullet$ como establece el corolario 2, para esta t nosotros tenemos el estado \overline{mre} y *mpe*.

De *mpe* podemos disparar transiciones t mantenidas $\forall p \in S_P \mid m[p] \neq 0$ y m_o podría ser alcanzado. Pero como $|\tau| = 1$ y desde que el sistema es bien definido (por lo establecido en la definición 1) cualquier *Semiflujo_T* mínimo conteniendo t podría ser disparable desde m_o que es una contradicción con t estando muerto en m . Esto contradice la hipótesis que $|\tau| = 1$ y podemos concluir que $|\tau| > 1$. \square

A. Teorema de vivacidad

Una propiedad de vivacidad afirma que la ejecución del programa (*proceso*) eventualmente alcanza algún estado deseable. La propiedad de vivacidad y su caracterización estructural en la clase BORPN es un caracterización muy importante que apoya los siguientes resultados teóricos. El bloqueo mutuo es un problema mayor para sistemas que asignan recursos en tiempo real. Cuando se hable de sistemas concurrentes esto es relacionado a la propiedad de libertad de bloqueo mutuo, caracterizada como propiedad de vivacidad en la clase BORPN. El teorema 1 resume este resultado.

Teorema 1. *La red \mathcal{N} está viva sii no existe un sifón vacío \mathcal{D} , donde $|\mathcal{D} \cap P_R| \geq 2$ y existe *mpe*, $p \in \mathcal{D}$ y \overline{mre} , $r \in \mathcal{D}$*

Proof. Probaremos este resultado por contradicción.

\Rightarrow) Si $|\mathcal{D} \cap P_R| \geq 2$ entonces $\exists r_1, r_2 \in \mathcal{D}$ donde $r_1^\bullet = p$ y $r_2^\bullet = p'$; $p, p' \in \mathcal{N}_i$ como r pertenece a la zona de un recurso $\mathcal{Z}_{i,j}^r = \mathcal{H}_r \cap \mathcal{N}_i$, $i \in \mathbb{N}^{*|\mathcal{N}|}$ por definición 7 y desde que existe *mpe* podemos verificar que $\exists p'' \mid \bullet p'' = r_1^\bullet$ y $\exists p''' \mid \bullet p''' = r_2^\bullet$ donde $p'', p''' \in \mathcal{N}_j$ (existe tal p'' y p''' porque hay un arco desde r a t a p'' ; r_2 a t' y t' a p''' por construcción) pero como $\mathbf{y}_\tau[r] = 1$ por definición 1, $\nexists mre, r \in \mathcal{D}$ por lo que \mathcal{D} está vacío y la red \mathcal{N} no está viva.

\Leftarrow) Si \overline{mpe} , $p \in \mathcal{D}$; $mre, r \in \mathcal{D}$ en $|\mathcal{D} \cap P_R| \geq 2$ entonces existe r , podemos disparar las transiciones r^\bullet para todas los procesos activos que satisfacen la condición $\bullet p = r^\bullet$ pero como p pertenece a los portadores de r , por la definición 2 y hay más de un recurso en el sifón \mathcal{D} , esto declara que hay otro recurso r' que satisface $p \in \mathcal{H}_r$ en la red \mathcal{N} . Como $\mathbf{y}_\tau[r] = 1$ entonces alcanzaremos un \overline{mre} , y *mpe* para $|\mathcal{D} \cap P_R| \geq 2$ que es un sifón vacío y podemos concluir \square

B. Modelando un algoritmo básico de enrutamiento

En esta subsección se mostrará un ejemplo de un sistema de transporte modelado a través de redes de Petri como una herramienta de síntesis y modelado. La figura 2.a muestra un sistema de transporte de objetos (*objetos físicos o virtuales*) compuestos de tres nodos o estaciones y dos canales duplex nomidados C_A y C_B . Se puede deducir que si los nodos o estaciones de los extremos (1 y 3) quieren mandar objetos cada uno simultáneamente, un bloqueo mutuo puede ocurrir en el nodo del centro. Es preciso mencionar que nosotros asumimos que el nodo o estación 2 está deshabilitado para enviar o recibir mensajes, pero habilitado para reenviar los mensajes a los nodos/estaciones restantes.

La figura 2.b muestra una red de Petri con dos máquinas de estado, donde la máquina SM1 modela el flujo de objeto desde el nodo o estación 1 hacia el nodo o estación 3. La

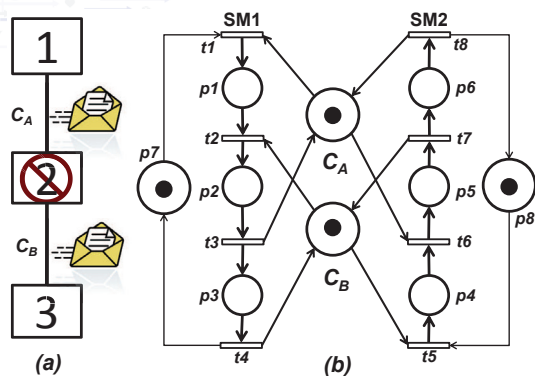


Figura 2. Modelado de un sistema de transporte a través de una clase BORPN.

máquina SM2 modela el flujo en la dirección inversa, es decir, los objetos desde el nodo o estación 3 al nodo o estación 1. Desde nuestra perspectiva RAS, los recursos son los canales del sistema y están representados por los lugares de recurso que denominamos C_A y C_B y tienen una marca que indica cuando ellos estén disponibles o no. Esta red de Petri pertenece a la clase BORPN la cual es adecuada para el modelado de un amplio rango de Sistemas de Asignación de Recursos que adquieren y liberan recursos en el mismo orden. Como mencionamos en el teorema 1, la vivacidad de este tipo de redes está relacionada con la existencia de sifones que son insuficientemente marcados en m . La red de la figura 2.b tiene un sifón D formado por los siguientes lugares $D = \{p_2, p_3, p_5, p_6, C_A, C_B\}$, donde no están marcados con la marcación $m = p_1 + p_4$. Bajo esta marcación, las transiciones de salida de los lugares en el sifón t_2 y t_6 están muertas y los sifones D sin marcas. Evidentemente, hay un bloqueo mutuo y el sistema no garantiza la propiedad de vivacidad como la red de Petri muestra.

IV. CONCLUSIONES

En este artículo hemos presentado una nueva clase de red de Petri orientada para tratar problemas de bloqueo mutuo en sistemas grandes que asignan recursos en forma unitaria y liberan estos en el mismo orden. La caracterización estructural para esta clase fue presentada a la vez que el teorema de vivacidad fue demostrado. Aplicando análisis estructural sobre el modelo de red de Petri [9] somos capaces de caracterizar la propiedad de vivacidad a través de una estructura llamada *sifón*. Diversas aproximaciones pudieron ser usadas para enfrentar problemas de bloqueo mutuo [1], sin embargo una política de prevención a través de canales virtuales es la opción más adecuada para algoritmos de enrutamiento [12]. Por otra parte, una política de evitación que use funciones lógicas sobre las transiciones podría ser usada pero estas políticas están fuera del alcance de este artículo.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido apoyado por la Universidad Tecnológica de Panamá.

REFERENCIAS

- [1] F. Tricas, "Analysis, prevention and avoidance of deadlocks in sequential resource allocation systems," Ph.D. dissertation, Zaragoza, España, Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática, Universidad de Zaragoza, May 2003.
- [2] F. Tricas and J. Ezpeleta, "Computing minimal siphons in petri net models of resource allocation systems: a parallel solution," *Systems, Man and Cybernetics, Part A, IEEE Transactions on*, vol. 36, no. 3, pp. 532–539, May 2006.
- [3] Y.-S. Huang, "Deadlock prevention for sequence resource allocation systems," *J. Inf. Sci. Eng.*, vol. 23, no. 1, pp. 215–231, 2007.
- [4] E. Pastor, J. Cortadella, and O. Roig, "Symbolic analysis of bounded petri nets," *Computers, IEEE Transactions on*, vol. 50, no. 5, pp. 432–448, May 2001.
- [5] K. Klai, S. Tata, and J. Desel, "Symbolic abstraction and deadlock-freeness verification of inter-enterprise processes," in *Proceedings of the 7th International Conference on Business Process Management*, ser. BPM '09. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, pp. 294–309.
- [6] G. Ciardo, "Data representation and efficient solution: a decision diagram approach," in *Proceedings of the 7th international conference on Formal methods for performance evaluation*, ser. SFM'07. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, pp. 371–394. [Online]. Available: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1768017.1768026>
- [7] F. Vallés, F. Tricas, J. Ezpeleta, and J. Colom, "Structurally safe net systems," R. Boel and G. Stremersch, Eds., Kluwer Academic Press. Kluwer Academic Press, 8 2000, pp. 441–448.
- [8] E. Cano, A. Rovetto, and J. Colom, "On the computation of the minimal siphons of S^4PR nets from a generating family of siphons," *15th. IEEE Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation*, September 2010.
- [9] E. E. Cano, C. A. Rovetto, and J. M. Colom, "An algorithm to compute the minimal siphons in S^4PR nets," *Discrete Event Dynamic Systems*, vol. 22, no. 4, pp. 403–428, 2012.
- [10] T. Murata, "Petri nets: Properties, analysis and applications," *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, no. 4, pp. 541–580, April 1989.
- [11] E. G. Coffman, M. Elphick, and A. Shoshani, "System deadlocks," *ACM Comput. Surv.*, vol. 3, pp. 67–78, June 1971. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/356586.356588>
- [12] C. A. Rovetto, E. E. Cano, and J. Colom, "Deadlock analysis in minimal adaptive routing algorithms using petri nets," *Systems, Man, and Cybernetics, 2010 IEEE International Conference on*, 10 2010.

APÉNDICE

Una *red lugar/transición* (red L/T), es una tupleta triple $\mathcal{N} = \langle P, T, W \rangle$, donde W es una función total $W : (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \mathbb{N}^*$, siendo P, T conjuntos no vacíos, finitos y disjuntos. Elementos pertenecientes a los conjuntos P y T son llamados respectivamente *lugares* y *transiciones*, o generalmente nodos. Las redes L/T pueden ser representados como un grafo bipartito directo, donde los lugares (transiciones) son gráficamente denotados por círculos (rectángulos): dejemos que $p \in P, t \in T, u = W(p, t), v = W(t, p)$, hay un arco directo, etiquetado u (v), comenzando en p (t) y terminando en t (p) si $u \neq 0$ ($v \neq 0$).

El *preset* (*postset*) o conjunto de nodos de entradas (salidas) $x \in P \cup T$ es denotado por $\bullet x$ (x^\bullet), donde $\bullet x = \{y \in P \cup T \mid W(y, x) \neq 0\}$ ($x^\bullet = \{y \in P \cup T \mid W(x, y) \neq 0\}$). El *preset* (*postset*) es un conjunto de nodos $X \in \text{bag}(P) \cup \text{bag}(T)$ es denotado por $\bullet X$ (X^\bullet), donde $\bullet X = \{y \mid y \in \bullet x, x \in X\}$ ($X^\bullet = \{y \mid y \in x^\bullet, x \in X\}$).

Una *red L/T generalizada* es una red con pesos de arcos positivos. Si los pesos del arco son unitarios (i.e., W puede ser definido como una función total $(P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \{0, 1\}$) la red es llamada *ordinaria*. Una *máquina de estado* es una red ordinaria tal que para cada transición $t \in T, |\bullet t| = |t^\bullet| = 1$.

Dejemos que $\mathcal{N} = \langle P, T, W \rangle$ sea una red L/T. Su (red inversa) $\mathcal{N}^r = \langle P, T, W^r \rangle$ es la misma red con sus arco invertidos, i.e. $W^r(p, t) = W(t, p)$ y $W^r(t, p) = W(p, t)$.

Un lugar con ciclo propio $p \in P$ es un lugar tal que $p \in p^{\bullet\bullet}$. Una red L/T pura (tambien una red L/T libre de ciclos propios) es una red sin lugares con ciclos propios. En redes L/T puras, la red puede ser tambien definida por la tupleta triple $\mathcal{N} = \langle P, T, C \rangle$, donde C es llamada la matriz de incidencia, $C[p, t] = W(p, t) - W(t, p)$.

Una marca m de una red L/T \mathcal{N} es un vector $\mathbb{N}^{|P|}$, asignando un numero finito de marcas $m[p]$ (llamadas marcas) a cada lugar $p \in P$. Las marcas son representadas por puntos negros dentro de los lugares. El soporte de una marca, $\|m\|$, es un conjunto de lugares que son marcados en m , i.e. $\|m\| = \{p \in P \mid m[p] \neq 0\}$.

Definimos una red L/T marcada (incluso un sistema de red L/T) como una dupleta $\langle \mathcal{N}, m_0 \rangle$, donde \mathcal{N} es una red L/T, y m_0 es una marca para \mathcal{N} , tambien llama *marca inicial*. \mathcal{N} se dice que es la estructura del sistema donde m_0 representa el estado del sistema.

Dejemos que $\langle \mathcal{N}, m_0 \rangle$ sea una red L/T marcada. Una transición $t \in T$ esa *habilitada* (incluso *disparable*) sii $\forall p \in \bullet t \cdot m_0[p] \geq W(p, t)$, que es denotada por $m_0[t]$. El *disparador* de una transición habilitada $t \in T$ cambia el estado del sistema a $\langle \mathcal{N}, m_1 \rangle$, donde $\forall p \in P \cdot m_1[p] = m_0[p] + C[p, t]$, y es denotado por $m_0[t]m_1$. Una *secuencia de disparo* σ desde $\langle \mathcal{N}, m_0 \rangle$ es una secuencia de transiciones no vacía $\sigma = t_1 t_2 \dots t_k$ tal que $m_0[t_1]m_1[t_2] \dots m_{k-1}[t_k]$. El disparado de σ es denotado por $m_0[\sigma]t_k$. Nosotros llamamos al vector de *conteo de disparado* σ de σ al mapeo de Parikh $\sigma \rightarrow \mathbb{N}^{|T|}$ (i.e. $\sigma[t]$ es igual al numero de veces que t aparece en σ). El soporte de σ es denotado por $\|\sigma\|$.

Una marca m es *alcanzable* desde $\langle \mathcal{N}, m_0 \rangle$ sii existe una *secuencia de disparo* σ tal que $m_0[\sigma]m$. El *conjunto de alcanzabilidad* $RS(\mathcal{N}, m_0)$ es un conjunto de marcas alcanzables, i.e. $RS(\mathcal{N}, m_0) = \{m \mid \exists \sigma \cdot m_0[\sigma]m\}$.

La *ecuación de estado de red* de una red L/T marcada $\langle \mathcal{N}, m_0 \rangle$ es una ecuación definida como $m = m_0 + C \cdot \sigma$, donde $\sigma \not\geq \mathbf{0}$. Cada marca alcanzable guarda la ecuación de estado de la red, pero puede que exista soluciones para la ecuación las cuales no son marcas alcanzables. Por lo que nosotros llamaremos m una *marca potencialmente alcanzable*. El *conjunto de alcanzabilidad potencial* $PRs(\mathcal{N}, m_0)$ es definido como $PRs(\mathcal{N}, m_0) = \{m \mid \exists \sigma \in \mathbb{N}^{|T|} \cdot m = m_0 + C \cdot \sigma, \sigma \not\geq \mathbf{0}\}$.

Una transición $t \in T$ está *viva* sii para cada marca alcanzable $m \in RS(\mathcal{N}, m_0)$, $\exists m' \in RS(\mathcal{N}, m)$ tal que $m'[t]$. El sistema $\langle \mathcal{N}, m_0 \rangle$ está *vivo* sii cada transición está viva. De otro modo, $\langle \mathcal{N}, m_0 \rangle$ está *muerto*. Una transición $t \in T$ está *muerta* sii no hay marcas alcanzables $m \in RS(\mathcal{N}, m_0)$ tal que $m[t]$. El sistema $\langle \mathcal{N}, m_0 \rangle$ está en un *bloqueo mutuo total* sii cada transición está muerta, i.e. ninguna transición es disparable. Un *estado hogar* m_k es una marca tal que es alcanzable desde cada marca alcanzable, i.e. $\forall m \in RS(\mathcal{N}, m_0) \cdot m_k \in RS(\mathcal{N}, m)$. El sistema de red $\langle \mathcal{N}, m_0 \rangle$ es *reversible* sii m_0 es un estado hogar.

Un *semiflujo-p* (*semiflujo-t*) es un vector $Y \in \mathbb{N}^{|P|}$, $Y \neq \mathbf{0}$ ($X \in \mathbb{N}^{|T|}$, $X \neq \mathbf{0}$), que es un anulador izquierdo (derecho) de la matriz de incidencia, $Y \cdot C = \mathbf{0}$ ($C \cdot X = \mathbf{0}$). El soporte de un semiflujo-p (semiflujo-t) es denotado $\|Y\|$ ($\|X\|$), y sus lugares (transiciones) se dicen que son cubiertos por Y (X). La red L/T \mathcal{N} es *conservativa* (*consistente*) sii cada lugar (transición) es cubierto por un semiflujo-p (semiflujo-t). Un *semiflujo-p mínimo* (*semiflujo-t mínimo*) es un semiflujo-p (semiflujo-t) tal que el m.c.d. de sus componentes no nulos es uno y su soporte $\|Y\|$ ($\|X\|$) no es un super conjunto estricto del soporte de otro semiflujo-p (semiflujo-t).

Un *camino* π de una red L/T \mathcal{N} es una secuencia de nodos $\pi = x_1 x_2 \dots x_n$ tal que los componentes impares son lugares y los componentes pares transiciones, o viceversa, y para cada par (x_i, x_{i+1}) , $W(x_i, x_{i+1}) \neq 0$. Un *camino elemental* es un camino tal que $\forall i, j \in [1, n] \cdot x_i \neq x_j$, excepto para $x_1 = x_n$ (lo cual es permitido). Un *circuito general* es un camino tal que $x_1 = x_n$. Un *circuito elemental* (o simplemente *circuito*) es a la vez un camino elemental y un circuito general.

Índice de Autores

A

Amezquita Martinez, David A. (55)

C

Cabrera Medina, Jaime Malqui (49)(60)

Cano, Elia E. (79)

Cataldo, Andrea (55)

Concepción, Tomás (79)

D

Díaz Q, María de Jesús (9)

Duarte, Helga (23)

Duran, Nini Paola (45)

G

Gonzalez Gill, Jose Angel (64) (71)

González, Boris (23)

M

Martínez Jara, Eustaquio Alcides (4)

Martínez, Yoni Enrique (31)

Mayorga, Luis Hermes (45)

Mendoza, Luis (40)

Moreno, Iveth (37)

P

Perez, Efrain (64)

R

Ramírez Heredia, Ricardo E. (55)

Romero Aquino, Nelson Marcelo (4)

Rovetto, Carlos A. (79)

S

Saldaña, Juan (40)

Sánchez Medina, Irlesa Indira (49)(60)

Serracín, José (37)

V

Vargas, Geyni Arias (60)

Vargas, Miguel (40)

Villarreal, Vladimir (17)

ORGANIZADO POR:



Grupo de Investigación en Tecnologías Computacionales Emergentes

FINANCIADO POR:



COLABORADORES:

