



# DIFU 100CI@



## REVISTA DE DIFUSIÓN CIENTÍFICA

### INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS



DIFU100ci@ (léase difuciencia) Vol. 8, No. 2. Septiembre - Diciembre 2014, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas", a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Jardín Juárez No. 147, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Tel. (01 492) 925 6690. <http://www.uaz.edu.mx>, <http://difu100cia.uaz.edu.mx>. Editor responsable: Jorge Flores Troncoso, email: [jflorest@uaz.edu.mx](mailto:jflorest@uaz.edu.mx). Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-060212215100, ISSN: 2007-3585, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Jorge Flores Troncoso, López Velarde 801, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Fecha de última actualización 30 de Diciembre de 2014. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas" a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.

PRODUCCIÓN

**Universidad Autónoma de Zacatecas  
"Francisco García Salinas"**

PRODUCCIÓN Y DISEÑO

**Jorge Flores Troncoso**

D.R. de la Presente Edición

**Jorge Flores Troncoso  
Universidad Autónoma de Zacatecas  
"Francisco García Salinas"  
López Velarde 801, Centro  
98010 Zacatecas, Zac. México**

ISSN 2007-3585

Hecho en México  
Made in Mexico

### Directorio

I. Q. Armando Silva Cháirez Rector  
Lic. Cuauhtémoc Rodríguez Aguirre Secretario General  
Dr. Miguel Rodríguez Jáquez Secretario Académico  
M. en A Emilio Morales Vera Secretario Administrativo  
M. en C. Hans Hiram Pacheco García Coord. Investigación y Posgrado  
Dra. Georgia Aralu González Pérez Coord. Depto. Editorial

### Editores Ejecutivos

Jorge Flores Troncoso, Editor en Jefe, UAZ, México  
Manuel Reta Hernández, UAZ, México  
Claudia Sifuentes Gallardo, UAZ, México

### Editores Asociados

José Angel González Fraga, UABC, México  
Omar Álvarez Xochihua, UABC, México  
Evelio Martínez Martínez, UABC, México  
Adrián Enciso Almanza, UABC, México

### Grupo Revisor

Oliver Joekisch, University of Applied Sciences, Germany  
Ding Hongwei, Tongji University, China  
Robert Weissbach, Penn State Erie, The Behrend College  
Naim Logic., Arizona Public Service  
Leonardo Acho Zuppa, U Politècnica de Catalunya, España  
Miguel Andrés, U. de Valencia, España  
Manuel Hernández Calviño, Universidad de La Habana, Cuba  
Luis C. García Santander, Universidad de Concepción, Chile  
José Angel González Fraga, UABC, México  
Omar Álvarez Xochihua, UABC, México  
Evelio Martínez Martínez, UABC, México  
Adrián Enciso Almanza, UABC, México  
Ramón Parra Michel, CINVESTAV, México  
Leonel Soriano Equigua, FIME-UCol, México  
Geminiano D. Martínez Ponce, CIO, México  
Jaime Sánchez García, CICESE México  
David H. Covarrubias Rosales, CICESE, México  
Enrique Pacheco Cabrera, AEM, México  
Remberto Sandoval Aréchiga, UAZ México  
Salavador Ibarra Delgado, UAZ México  
Ernesto García Domínguez, UAZ México  
Rafael Villela Varela, UAZ México  
Jorge de la Torre y Ramos, UAZ México  
Guillermo Romo Guzmán, UAZ México

## Contenido

---

Editorial	p. 1
Sistema Computacional para la Estimación del Impacto Ambiental Producido por Proyectos Urbanos	pp. 2–7
Image Encryption Based on Improved Rössler Hyperchaotic Map	pp. 8–15
The Classification of Fragments of Objects by the Fourier Mask Digital System	pp. 16–21
A Full Analytical Solution to the Direct and Inverse Kinematics of the Pentaxis Robot Manipulator	pp. 22–27
Disciplinando Equipos Pequeños con Prácticas Ágiles	pp. 28–33
UAM-Online: Una Plataforma Computacional de Apoyo al Proceso de Enseñanza-Aprendizaje	pp. 34–39
Key Implementation Elements of Haptic Rendering	pp. 40–45
Simulación Estructurada del Filtro de Kalman para Identificación de Estados en un Motor de C.C. sobre una Computadora Embebida	pp. 46–52
Metodología para el Desarrollo de Mundos Virtuales, con un Caso de Estudio: Independencia de México	pp. 53–58
Augmented Reality as a Tool for the Development of Mathematical Skills	pp. 59–65
Uso de la Tecnología como Apoyo a la Discapacidad Visual	pp. 66–72
Reconocimiento de Sonidos Ambientales usando Espectro Beat y Parámetros Estadísticos	pp. 73–78
Parallel Genetic Algorithms on a GPU to Solve the Travelling Salesman Problem	pp. 79–85
Programación Generativa en Java y Modificación de Funcionalidades a Tiempo de Carga	pp. 86–91
Modelo para Determinar la Calidad en Objetos de Aprendizaje Integrando un Enfoque a Servicios basado en un Estudio EFA	pp. 92–96

Desarrollo de una Plataforma de Simulación Basada en el Robot Antropomórfico K-680	pp. <a href="#">97–103</a>
Herramienta Didáctica de Representación Visual como Apoyo en el Aprendizaje del Álgebra Relacional	pp. <a href="#">104–110</a>
Energy Model in an Open Hardware Wireless Sensor Network	pp. <a href="#">111–118</a>
Estudio Piloto sobre los Conocimientos más Importantes para los Ingenieros de Software en México	pp. <a href="#">119–125</a>
Monitoring Healthcare Activities toward Automatic Recognition using Accelerometers	pp. <a href="#">126–131</a>

## Editorial

---

La revista *DIFU*<sub>100</sub>*ci*@ es una revista cuatrimestral que comenzó su publicación oficial en 2005. En mayo del 2012, la revista *DIFU*<sub>100</sub>*ci*@ adquirió el ISSN.

Desde entonces, se pretende contribuir a la difusión del conocimiento de la comunidad académica tanto nacional como internacional mediante la difusión de resultados de investigación de alta calidad. La Revista se centra en obras originales, que incluyen principalmente los estudios experimentales, análisis numéricos, estudios de casos y revisiones bibliográficas que proporcionan una significativa contribución a las áreas de ingeniería y tecnología en todas las disciplinas (Electrónica, Eléctrica, Ciencias de la Computación, Mecatrónica, Robótica, Telecomunicaciones, Procesamiento de señales, Ingeniería Industrial, Ingeniería de Control, y Bioingeniería).

Desde el comienzo, la revista ha buscado la mejora de los artículos aceptados para su publicación por un proceso de evaluación por pares o árbitro de los manuscritos recibidos. Estas evaluaciones son llevadas a cabo por expertos de reconocido prestigio por sus conocimientos y logros académicos, con el objetivo de asegurar que las publicaciones seleccionadas están contribuyendo al estado del arte en diferentes áreas de interés. Además, desde su inicio, la revista se ha abierto a los estudiantes y académicos a través del Sistema Open Journal, facilitando todo el proceso de presentación y publicación.

En este número, se publican trabajos seleccionados por el Comité Organizador del **Congreso Internacional en Ciencias Computacionales, CiComp 2014** (<http://www.cicomp.org/cicomp-2014.html>). La organización del CiComp 2014 esta a cargo de la Licenciatura en Ciencias Computacionales de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), México. Agradecemos al Comité por la confianza para la publicación de sus trabajos.

Agradezco a los autores y revisores, que se esfuerzan para mejorar la calidad de los manuscritos. Exhorto a todos los investigadores, académicos y estudiantes en las áreas de ingeniería y tecnología para que continúen sometiendo sus artículos en nuestra revista y contribuir a la noble difusión de la ciencia y la tecnología.

Jorge Flores Troncoso  
Editor en Jefe, Revista *DIFU*<sub>100</sub>*ci*@  
Universidad Autónoma de Zacatecas

# Sistema Computacional para la Estimación del Impacto Ambiental Producido por Proyectos Urbanos

Joaquín Hernández Velázquez, Pedro Pablo González Pérez, María del Carmen Gómez Fuentes

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa  
Av. Vasco de Quiroga 4871, Col. Santa Fe Cuajimalpa, Distrito Federal, México, 05348.  
[jhernandezv@correo.cua.uam.mx](mailto:jhernandezv@correo.cua.uam.mx), [pgonzalez@correo.cua.uam.mx](mailto:pgonzalez@correo.cua.uam.mx), [mgomez@correo.cua.uam.mx](mailto:mgomez@correo.cua.uam.mx)

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

En este trabajo presentamos un sistema computacional, a nivel prototipo, para la identificación, caracterización y evaluación de impacto ambiental producido por proyectos de urbanización. El sistema representa y manipula el conocimiento experto del dominio de impacto ambiental a través de la interacción colaborativa de dos importantes técnicas de inteligencia artificial: sistemas expertos y redes neuronales. Los datos de escenarios ambientales, previamente recolectados, son proporcionados al sistema, el cual como resultado produce estimaciones sobre cuáles serían las consecuencias negativas de llevar a cabo un nuevo proyecto urbano. En particular, el sistema computacional utiliza reglas heurísticas para identificar los impactos ambientales, redes neuronales para caracterizarlos y algoritmos para evaluarlos.

*Palabras clave:* Estimación de impacto ambiental, Impacto ambiental, Proyecto de urbanización, Redes neuronales, Sistemas expertos.

---

## 1. Introducción

Los proyectos urbanos, tales como casas habitación, departamentos, desarrollos habitacionales, etc. brindan beneficios a la sociedad, sin embargo, su construcción tiene algunas consecuencias negativas para el medioambiente, como la destrucción de zonas forestales, el desabasto de recursos no renovables o el incremento del tráfico vehicular [1]. Como hemos podido constatar, a través de una minuciosa revisión de fuentes impresas y electrónicas, en México no se cuenta con una plataforma computacional que integre las tres

principales fases de las metodologías comúnmente usadas en la estimación del impacto ambiental producido por proyectos urbanos, que son: identificación, caracterización y evaluación. Por tal motivo, la propuesta del presente trabajo se focaliza en el diseño y construcción del prototipo de una plataforma computacional, basada en el conocimiento experto, que proporcione un valioso apoyo en la estimación del impacto ambiental producido por proyectos de urbanización. La herramienta proporciona resultados que permiten valorar como repercutirá el proyecto en su entorno, con la idea de que su plan se

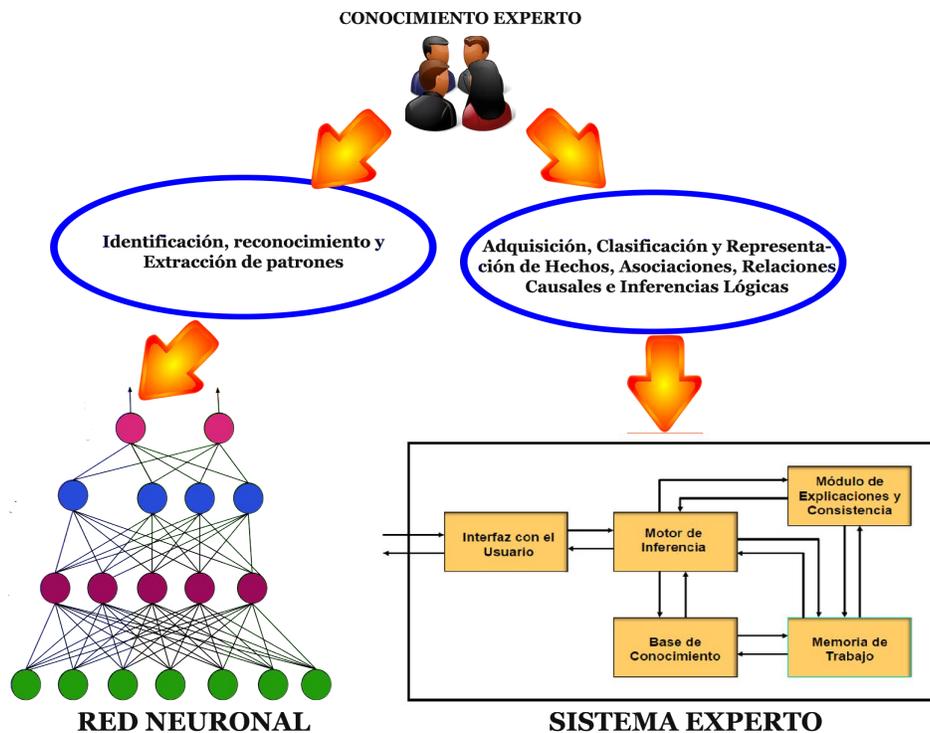


Figura 1. Representación y manipulación del conocimiento experto en impacto ambiental

modifique para minimizar la destrucción de los factores naturales.

Los proyectos urbanos no se limitan a la construcción de instalaciones que proporcionan servicios, es decir, escuelas, hospitales, centros comerciales y desarrollos habitacionales. También existen proyectos como la construcción de áreas militares, aeropuertos, conversión de parques industriales abandonados, estaciones ferroviarias, proyectos de rehabilitación de viviendas marginales, construcción de modelos nove-dosos de transporte público, entre otros. El impacto de los proyectos urbanos se refleja no solo en el medio ambiente físico [1], sino también en el medio socioeconómico. En esta primera fase del proyecto, analizamos el impacto en el medio ambiente físico, también llamado medio natural de los proyectos urbanos habitacionales.

Los principales problemas a enfrentar durante la evaluación y el diagnóstico del impacto ambiental producido por los proyectos de urbanización en México son los siguientes: i) la información se encuentra dispersa y distribuida en diferentes fuentes, ii) se requiere consultar a expertos en el área, quienes no siempre están disponibles, iii) no se cuenta en México con una herramienta computacional integral que ayude con esta labor. El sistema computacional propuesto implementa las actividades de estimación a través de sistemas expertos [2], redes neuronales artificiales [3] y métodos numéri-

cos. A continuación exponemos, de forma resumida, las actividades involucradas cuando se realiza un estudio del impacto ambiental de un proyecto dado [4].

## 2. Implementación de la metodología para el estudio del impacto ambiental en el sistema computacional

El estudio del impacto ambiental incluye los siguientes tres aspectos [1]:

1. Identificación de Impactos Ambientales.- Consiste en identificar los efectos que tienen en el medio ambiente las actividades relacionadas con el proyecto.
2. Caracterización de Impactos Ambientales.- Es una valoración cualitativa del impacto ambiental, en la cual se determina el nivel de importancia del conjunto de impactos identificados.
3. Evaluación de Impactos Ambientales.- Es una valoración cuantitativa en la que se proporciona un valor numérico a los impactos caracterizados como críticos o severos.

Como ya mencionamos previamente, el sistema computacional conceptualizado brinda soporte a la identificación, caracterización y evaluación de impacto ambiental, haciendo uso del conocimiento, habilidades y

Tabla 1. Muestra con algunas preguntas de la lista de chequeo

Indice	Pregunta
a101.	¿Cambios permanentes o temporales en el uso de suelo, cobertura o topografía incluyendo intermedios en la intensidad de uso?
a102.	¿Labores de eliminación de vegetación y/o suelos?
a103.	¿Creación de nuevos usos de suelo?
a104.	¿Labores previas a la construcción como realización de perforaciones y análisis de suelo?
a105.	¿Labores de construcción?
a106.	¿Labores de demolición?

Tabla 2. Niveles de importancia en el ambiente

Valor	Nivel de respuesta
0	No, no significativo
1	Poco
2	Moderado
3	Mucho
4	Excesivo

procedimientos utilizados por expertos en áreas ambientales vease figura 1. Hemos llamado a este sistema Plataforma Computacional para la estimación del Impacto Ambiental (PCIA).

### 2.1. Identificación de los impactos ambientales negativos

Los impactos ambientales negativos tienen que ver con la contaminación y/o la ocupación de territorio y, para identificarlos, se elaboran listas de chequeo con las cuales se pregunta por los efectos que tendría el proyecto en cada uno de los aspectos que contempla la lista. Existen cuatro metodologías muy empleadas para hacer listas de chequeo: el listado simple, el descriptivo, el de escala y el de escala y peso. En este proyecto, utilizamos el listado simple que consiste en una lista de antecedentes que sirven para evaluar los aspectos del medio ambiente que se verán afectados. Para este fin, nos basamos en la Guía de la SEMARNAT [5], considerando 150 aspectos. En PCIA, las preguntas (lista de chequeo) se refieren a las actividades que se van a realizar para elaborar el proyecto urbano que se está analizando, y que afectan de manera directa o indirecta al medio ambiente físico. La tabla 1 ilustra una muestra de la lista de preguntas que emplea el sistema. La respuesta a dichas preguntas la proporciona el usuario, proporcionando uno de 5 valores posibles.

En la tabla 2 se muestran los valores de importancia con los que el usuario califica cada pregunta de la lista de chequeo.

El sistema experto de PCIA obtiene conclusiones

pre-eliminables en base a los niveles de importancia proporcionados por el usuario para cada una de las preguntas de la lista de chequeo. Estas conclusiones se obtienen con reglas de producción (inferencias lógicas) [2], las cuales están codificadas en el lenguaje Prolog. A continuación presentamos un ejemplo de las condiciones que se requieren para que el sistema llegue a la siguiente conclusión: El Proyecto tendrá uso significativo de cualquier recurso natural, especialmente de recursos no renovables o escasos. Cada conclusión preliminar tiene asociado un código, en este caso CP2. La lista de preguntas que pueden llevar a CP2 es la siguiente:

1. ¿El proyecto hará uso de tierras, especialmente aquellas no urbanizadas o agrícolas?
2. ¿El proyecto hará uso de agua?
3. ¿El proyecto hará uso de recursos minerales?
4. ¿El proyecto hará uso de recursos forestales?
5. ¿El proyecto hará uso de electricidad o combustibles?

Es necesario hacer notar que unas preguntas tienen mayor peso que otras. Por ejemplo, si el uso de agua, o bien el uso de recursos forestales, tiene un nivel de respuesta mayor o igual a 3, entonces se asigna un nivel de importancia alto a la conclusión CP2 (un 4), aunque las demás respuestas tengan un nivel bajo. En general, las reglas de producción se encargan de asignar un valor de importancia del 0 al 4 a cada una de las conclusiones pre-eliminables. Para hacer esta asignación, el usuario debe contestar todas las preguntas de la lista de chequeo. El sistema tiene 23 conclusiones pre-eliminables CP1, CP2, . . . , CP23 . Cada conclusión CPn tiene asociada una lista de preguntas que la afectan y su regla de producción, como estructura de representación del conocimiento inferencial, indica en qué grado la afecta cada pregunta. Además, se tiene una lista de 17 conclusiones finales CFn. Estas conclusiones finales se obtienen en función del valor que se le asigna a las conclusiones preliminares. Cada conclusión final depende de una o más conclusiones preliminares. Con las conclusiones finales, se tiene una valoración de los impactos identificados en función de sus atributos. La tabla 3 muestra el ejemplo de una regla de producción del sistema, la cual infiere una conclusión parcial, en el ejemplo, CP2.

La etapa de identificación termina con la obtención de 17 conclusiones finales, las cuales arrojan información sobre los impactos del proyecto. Una vez que se han identificado los impactos ambientales, se procede a caracterizarlos para determinar que tan importante

Tabla 3. Ejemplo de regla de producción para obtener una conclusión preliminar

cp2. El Proyecto tendrá uso significativo de cualquier recurso natural, es pecialmente de recursos no renovables o escasos.	
Preguntas	Regla de producción
a202. ¿El proyecto conllevará uso de Agua?	SI antecedente (índice,NivelResp) y índice = a202 y NivelRespA202 >= 3 o antecedente (índice,NivelResp) y índice = a204 y NivelRespA204 >= 3 ENTONCES conclusiónPreliminar (cp2, 4)
a204. ¿El proyecto conllevará uso de recursos forestales y/o madereros?	

es cada uno de ellos. En la siguiente sección se explica la forma en la que el sistema lleva a cabo esta caracterización.

### 2.2. Caracterización de los impactos ambientales

En nuestro proyecto, la caracterización de impactos ambientales es tratada como un problema de reconocimiento y clasificación de patrones. Para tal efecto, PCIA utiliza una red neuronal de aprendizaje supervisado del tipo back-propagation [6] de tres capas, con 17 neuronas en la capa de entrada (las 17 conclusiones finales de la etapa de identificación), 17 neuronas en la capa intermedia y 4 en la capa de salida, que corresponden a los 4 posibles valores de clasificación de la importancia del impacto. La configuración de esta red se ilustra en la figura 2. La fase de entrenamiento de la red neuronal abarcó un conjunto de 60 patrones de entrenamiento del tipo entrada-salida, los cuales fueron presentados en forma iterativa durante 15,000 épocas o iteraciones.

Durante la fase de entrenamiento de la red neuronal, el error cuadrático medio inicial fue de 20.90, después de 15,000 iteraciones se logró reducir el error a un valor de 0.035. Con este valor, fue posible lograr un óptimo desempeño de la red, durante la fase de respuesta. Se le presentaron nuevos patrones a la red, los cuales no formaron parte de la muestra de entrenamiento, y la respuesta de la red fue exitosa, ya que logró clasificar correctamente todos los patrones proporcionados. Los valores cualitativos del impacto ambiental se clasifican en las cuatro categorías de la tabla 4, en la que se definen los rangos de importancia para cada una de las categorías en las que puede clasificar la red neuronal. Nótese que son precisamente estos rangos los que definen las características que deben exhibir los patrones de entrenamiento.

Tabla 4. Correspondencia entre los rangos de valores de importancia y los valores cualitativos

Valor de Importancia	Valoración
0 a 17	Irrelevantes
18 a 34	Moderados
35 a 51	Severos
52 a 68	Críticos

### 2.3. Evaluación del impacto ambiental

La matriz de Leopold [7] es un método para evaluar impactos ambientales. PCIA se basa en esta matriz para llevar a cabo la evaluación cuantitativa de los impactos. Para elaborar la evaluación, es necesario tener lista la caracterización de los impactos ambientales con su nivel de impacto correspondiente. Solo se evalúan los impactos caracterizados como moderado, severo o crítico. En la primera etapa de la evaluación, se construye una matriz en cuyas columnas están las actividades que afectan a los factores bióticos (flora, fauna) y abióticos (agua, suelo, aire) del área en donde se realizará el proyecto urbano. Y en los renglones se incluyen las actividades del proyecto. Por otra parte, se le otorga un nivel de importancia a cada una de las actividades de la lista. Este nivel es la calificación del impacto ambiental y se otorga en función del efecto negativo que origina en el medio ambiente la actividad a desarrollar.

La calificación está en una escala de 1 al 10. En la segunda etapa, se determina un cociente que califica las interacciones entre actividades y factores. El numerador

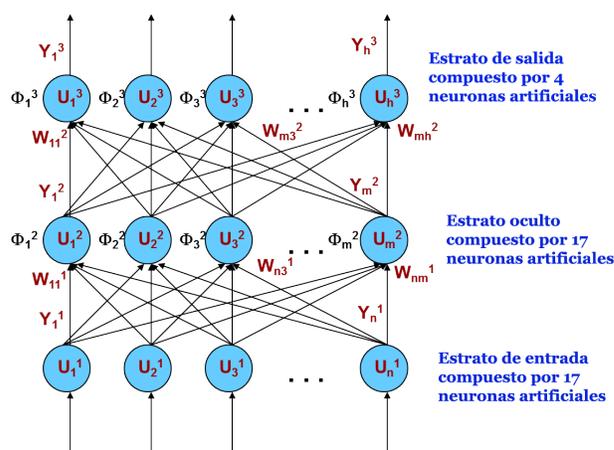


Figura 2. Modelo de red neuronal artificial utilizado para tratar la caracterización de impacto ambiental como un problema de clasificación de patrones.



Figura 3. Interfaz de trabajo de PCIA con menú de opciones.

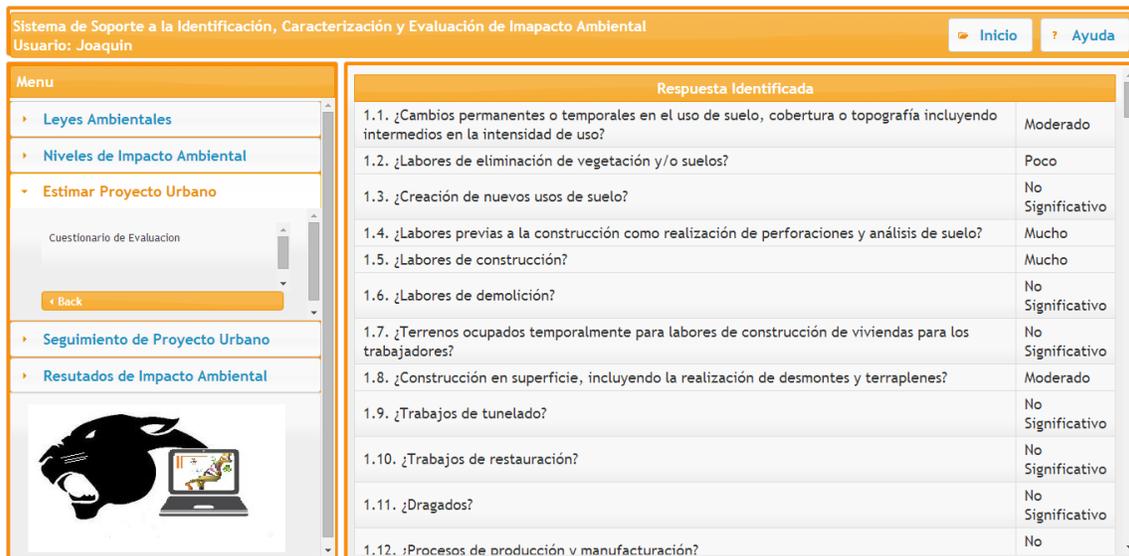


Figura 4. Evaluación de relación ambiente-proyecto a través de la lista de chequeo.

Tabla 5. Matriz de Leopold para PCIA

Actividades	Aire	Agua	Suelo	Flora	Fauna	Total
Construcción	-0/0	-3/3	-1/2	-2/3	-2/2	-8/10
Producción	-3/2	-2/3	-1/2	-3/2	-1/1	-10/10
Abandono	0/0	-1/3	-1/2	-1/2	-1/1	-4/8

representa el nivel de importancia de la actividad (ya otorgado previamente), y el denominador es el nivel en el que afecta la actividad al factor ambiental de la columna, ver el ejemplo de la tabla 5. Finalmente, se hace una sumatoria de estos cocientes para obtener un valor numérico del impacto ambiental de cada una de las actividades del proyecto (columna Total en la tabla 5).

### 3. Resultados

Como resultado de esta primera etapa de desarrollo, hemos obtenido el prototipo completamente funcional de PCIA, el cual proporciona una valoración cualitativa y cuantitativa del impacto generado por un proyecto urbano. Empleamos una metodología de estimación de impacto ambiental basada en las fases de identificación, caracterización y evaluación del impacto ambiental. Representamos e implementamos el conocimiento experto para la estimación de impacto ambiental, con técnicas y métodos tales como sistemas expertos, redes neuronales artificiales, métodos numéricos y algoritmos de cálculo. La plataforma computacional (PCIA), es una herramienta adecuada para realizar estudios de impac-

to ambiental, debido a que reduce el lapso de tiempo hasta en un 20 % en la parte de procesamiento de información.

La plataforma computacional PCIA es una aplicación web dinámica, que hace uso de una base de datos para poder hacer procesos de peticiones del usuario en cada una de las etapas, su interfaz de trabajo se muestra en la figura 3. En la figura 4 se ilustra el proceso inicial de la fase de identificación de impacto ambiental.

#### 4. Conclusiones

Para que un proyecto de urbanización sea aprobado, éste debe someterse al estudio de su impacto ambiental, de forma tal que se evalúen cuáles son los efectos previsible sobre la población, la flora, la fauna, el suelo, el aire, el agua, los factores climáticos, el paisaje y los bienes materiales, incluyendo el patrimonio artístico y arqueológico. La evaluación de estos impactos reviste una gran importancia porque permite proponer medidas que reduzcan, eliminen o compensen los efectos ambientales significativos. En este trabajo hemos presentado el diseño y puesta en marcha de un sistema computacional a nivel prototipo, el cual brinda soporte a la identificación, caracterización y evaluación de impactos ambientales generados por proyectos de urbanización. Una característica crucial de esta herramienta consiste en la idónea representación, manipulación y disponibilidad permanente del conocimiento experto del dominio a través de técnicas de sistemas expertos (fase de identificación), redes neuronales artificiales (fase de caracterización) y métodos numéricos y algorítmicos (fase de evaluación). Actualmente estamos ajustando el sistema comparándolo con casos de estudio reales para lograr una respuesta óptima. Entre la amplia gama de alternativas de desarrollo futuro para la PCIA, se encuentra el incremento del nivel de análisis de la lista de chequeo, la adición de métodos diferentes al de la Matriz de Leopold para hacer la evaluación y la adición de métodos especializados para evaluar impactos ambientales específicos (contaminación en aire, en agua, en suelo, etc.).

#### Referencias

- [1] I. N. de Ecología, "La evaluación de impacto ambiental. secretaria de medio ambiente, recursos naturales y pesca. dirección." <http://www2.inecc.gob.mx/>, 2000.
- [2] E. R. Chopra, *Artificial Intelligence. A Practical Approach*. India: S. CHAND and COMPANY PVT. LTD, 1st ed., 2012.
- [3] R. Lahoz-Beltra, *Bioinformática: Simulación vida artificial e inteligencia artificial*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A., 2004.

- [4] L. B. L. Vázquez, *Estudio y evaluación de Impacto Ambiental en Ingeniería Civil*. España: Editorial Club Universitario, 2012.
- [5] S. de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), "Guía para la presentación de la manifestación de impacto ambiental para proyectos que requieran cambio de uso de suelo o proyectos agropecuarios. modalidad: particular." <http://tramites.semarnat.gob.mx/>, 2012.
- [6] A. G. Serrano, *Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones*. España: RC Libros, 2012.
- [7] D. G. O. y M. T. Gómez Villarino, *Evaluación de Impacto Ambiental*. España: Ediciones Mundi-Prensa, 2013.

# Image Encryption Based on Improved Rössler Hyperchaotic Map

Eduardo Rodríguez Orozco, E. Efren García Guerrero, Everardo Inzunza González, Oscar R. López Bonilla

Autonomous University of Baja California, Faculty of Engineering, Architecture and Design. Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917, Colonia Playitas. Ensenada, B.C., México, 22860.

{[eduardo.rodriguez.orozco](mailto:eduardo.rodriguez.orozco@uabc.edu.mx), [eeegarcia](mailto:eeegarcia@uabc.edu.mx), [einzunza](mailto:einzunza@uabc.edu.mx), [olopez](mailto:olopez@uabc.edu.mx)}@uabc.edu.mx

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Abstract

This article presents a cryptosystem encryption of digital images, efficient and secure. All the complexity of the encryption process rests on the improved chaotic dynamics of the Rössler hyperchaotic map. The algorithm implemented follows the principles of Kerckhoffs and Shannon of cryptography. From the results obtained experimentally and its security analysis, is shown that the proposed method is strong and safe. The proposed cryptographic scheme is simple, with high levels of security and of easy physical implementation, which together with the large key space that contains, makes it potentially attractive for applications in private communication systems.

*Keywords:* Chaotic encryption, hyperchaotic map, image encryption, security analysis

---

## 1. Introduction

In recent years, owing to frequent flow of digital images across the world over the public transmission media, it has become essential to secure them from leakages. During the last decade, numerous encryption algorithms have been proposed in the literature on different principles. Among them, chaos based encryption technique are considered good for practical use. Chaotic signals have apparently stochastic behavior and are characterized by a high bandwidth in the frequency spectrum. M.S. Baptista [1] has used chaotic signals to encrypt information, in order to transmit secret messages safely. Chaos and cryptography have some properties in common; the most important is the sensitivity to small changes in initial conditions. G. Giuseppe *et al.* [2] and L. Kocarev *et al.* [3] have used the chaos in

the cryptosystem design. The common characteristic of secure communications schemes based on chaos is that they employ a chaotic signals to transmit confidential information.

The cryptographic schemes based on chaos that have been reported in recent years are many and varied [4]-[22]. Although many strategies and methods to develop efficient algorithms have been explored and despite the interest and effort in the subject, the security to transmit confidential information through a public channel remain the most important problem to solve.

This paper present a cryptosystem of digital images of simple structure. This is achieved thanks that the essence of the encryption process is based only on the improved chaotic dynamics of the Rössler hyperchaotic system [23]. Because of the complexity manifested by the improved chaotic system, it is not necessary

any other operation or manipulation of information to be encrypted, which makes the proposed algorithm be simple and the same time efficient. The security and performance of the hyperchaotic encryption technique proposed is evaluated, using the most common methods of security analysis: *a) Statistical analysis*: it is obtained the image histograms of each stage of the encryption process, *b) Correlation analysis of pixels*: it is obtained the scatter plots between adjacent pixels (diagonal, vertical and horizontal), evaluating their correlation coefficients. *c) Differential attack*: it evaluates the Number of Pixels Change Rate (NPCR) and the Unified Average Changing Intensity (UACI), and *d) Information entropy*: the value  $H(s)$  is calculated. From the results obtained, it is suggested that this technique of the digital image hyperchaotic encryption is robust, safe and easy to implement, which together with a large key space that contains, make it highly viable to application over safe image communication systems.

The organization of this work is the following: **Section 2** presents a brief description of the improved hyperchaotic Rössler map and the proposed encryption algorithm. **Section 3** shows a description of the techniques of security analysis. **Section 4** presents the results obtained with the security and speed analysis. Finally, **Section 5** presents the conclusions of this work.

## 2. Proposed encryption algorithm

### 2.1. Improved Rössler hyperchaotic map

We propose the following improved hyperchaotic map described by Eqs. (1), and inspired by the Rössler hyperchaotic map [23].

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= C(\alpha x_1(k)(1-x_1(k)) - \beta(x_3 + \gamma)(1-2x_2(k))) \bmod 1, \\ x_2(k+1) &= C(\delta x_2(k)(1-x_2(k)) + \zeta x_3(k)) \bmod 1, \\ x_3(k+1) &= C(\eta((x_3(k) + \gamma)(1-2x_2(k)) - 1)(1-\theta x_1(k))) \bmod 1, \end{aligned} \tag{1}$$

where  $\alpha = 5, \beta = 1, \gamma = 3, \delta = 7, \zeta = 8, \eta = 5, \theta = 6$  and  $C = 1 \times 10^7$ . The initial conditions used are:  $x_1(0) = 0.1, x_2(0) = 0.15$  and  $x_3(0) = 0.01$ . Figs. 1a) (top) and 1b) (bottom) shows the frequencies spectrums of the states  $x_1, x_2$  and  $x_3$  of the original and improved Rössler system, respectively. For the original map Fig. 1a), shows that the states  $x_1$  and  $x_2$  have very similar spectral components and that frequencies above 30 KHz are wider, whereas the state  $x_3$  contains small amplitude spectral components. Furthermore, as can be see in Fig. 1b) the improving effect of the spectral behavior of the three original states  $x_1, x_2$  and  $x_3$ , which present uniform and continuous potency values [24]. Under these conditions

the improved hyperchaotic system exhibits an almost random behavior, similar to noise signals, which is highly beneficial to the process of information encryption.

Fig. 2a) presents the strange attractor generated by the original Rössler hyperchaotic map, and Fig. 2b) presents the strange attractor produced by the improved Rössler hyperchaotic map proposed in this paper. It can be seen in the improved attractor that the points are scattered throughout the 3D space, which is very desirable in all cryptosystems, due to the wide scattering with random appearance.

A more global perspective of the original map behavior and the Rössler improved map defined by Eqs. (1), is evident from their bifurcation diagrams. For example, Fig. 3a) correspond to the bifurcation diagram of the Rössler hyperchaotic map [24] where  $0 \leq \alpha \leq 4, \beta = 0.05, \gamma = 0.35, \delta = 3.78, \zeta = 0.2, \eta = 0.1$  and  $\theta = 1.9$ . It is noted that for  $3.5 \leq \alpha \leq 3.9$  the map exhibits its hyperchaotic dynamics, however, when  $\alpha > 3.9$  the map becomes unstable.

Fig. 3b) corresponds to the bifurcation diagram of the improved Rössler map defined by Eqs. (1), for  $0 \leq \alpha \leq 50, \beta = 1, \gamma = 3, \delta = 7, \zeta = 8, \eta = 5, \theta = 6$  and  $C = 1 \times 10^7$ . It is observed that there are more areas where for different values of  $\alpha$ , the map retains its hyperchaotic dynamics, without becoming unstable.

The corresponding values of the Lyapunov exponents of the system (1) evaluated are [24]: 0.008114, 0.006882 and 0.009371. This shown that the improved Rössler map is hyperchaotic [25].

### 2.2. Encryption algorithm

Given the properties manifested by the improved Rössler hyperchaotic map described by Eqs. (1), and which become evident in Figs. 1b), 2b) and 3b), it is proposed the cryptosystem shown in Fig. 4. The proposed cryptosystem is simple, fast and efficient, since the complexity of the encryption process lies in the hyperchaotic nature of the carrier signal, which is generated to encrypt the information. Furthermore, the Rössler hyperchaotic map comprises 7 parameters:  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \zeta, \eta, \theta$ , and 3 initial conditions:  $x_1(k), x_2(k), x_3(k)$ , so that its key space is of  $2^{524}$  [9, 10, 26], which makes it a robust enough cryptosystem against brute force attacks. Under these conditions, the proposed cryptosystem purses the Kerckhoffs and Shannon cryptography principles: *the security system must lie in the security of the key, supposing already known the rest of the parameters of the cryptosystem* [27]-[29].

Referring to Fig. 4, the cryptosystem requires two inputs, the first is the image to encrypt "Lena" and the

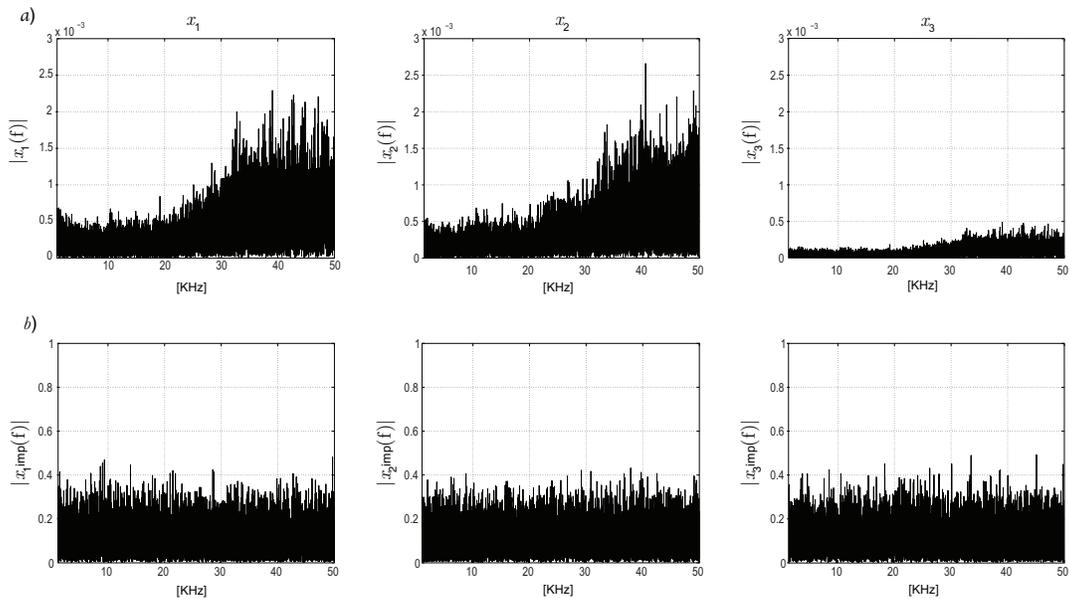


Figure 1. Frequencies spectrums of states  $x_1$ ,  $x_2$  and  $x_3$ . Top: a) original Rössler hyperchaotic map. Bottom: b) improved Rössler hyperchaotic map.

second is the encryption key  $(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \zeta, \eta, \theta, x_1, x_2$  and  $x_3)$ . The original image is a matrix of numbers  $(a_{ij})$ , with  $i = 1, \dots, m$  and  $j = 1, \dots, n$ , that is changed to a column vector  $(a_{l1})$ , with  $l = m \times n$ . Each number correspond to the gray level of each pixel image. Once the encryption key is known the hyperchaotic sequences are generated from the improved Rössler hyperchaotic map, Eqs. (1). An adjustment is made to the obtained hyperchaotic sequences, which involve a change of scale to obtain integers numbers of 8 bits. This is obtained from the operation  $x_{im}(k) = Cx_i(k) \bmod 255$ , with  $C = 1 \times 10^7$  and  $i = 1, 2, 3$ , i.e., we can use any state how hyperchaotic sequence. Finally the XOR operation is performed with the output  $x_{im}(k)$  and each pixel of the image  $(a_{l1})$ , thereby obtained the cryptogram of the original image. Finally, the cryptogram can be send by public channel like internet.

### 2.3. Decryption algorithm

Fig. 5 shown the decryption diagram proposed. Basically it is the reverse of the encryption process (Fig. 4). The cryptogram is received by some channel public, for example the internet and the key used for encryption is typed (the same initial conditions and parameters), XOR operation is performed between the cryptogram and improved chaotic sequence. Finally we get the original image.

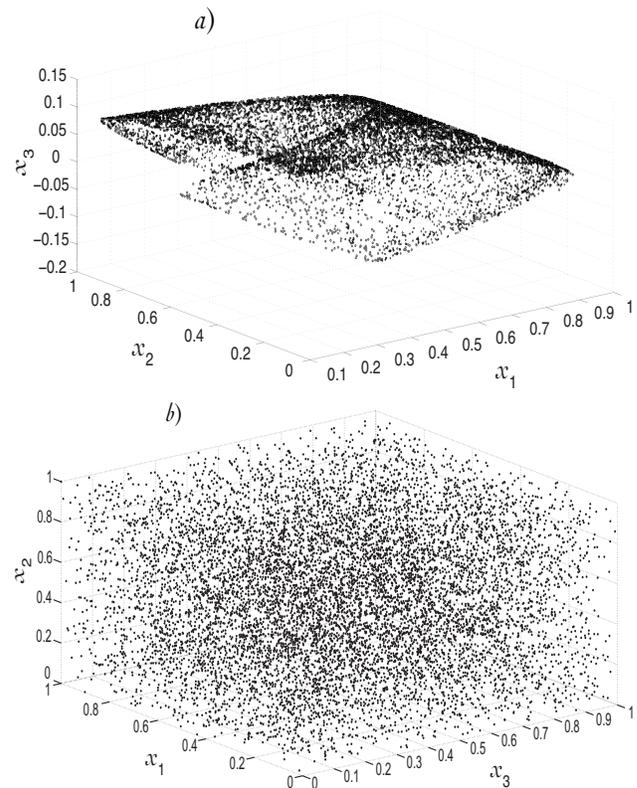


Figure 2. Strange attractor of the Rössler hyperchaotic map: a) original Rössler hyperchaotic map, b) improved Rössler hyperchaotic map.

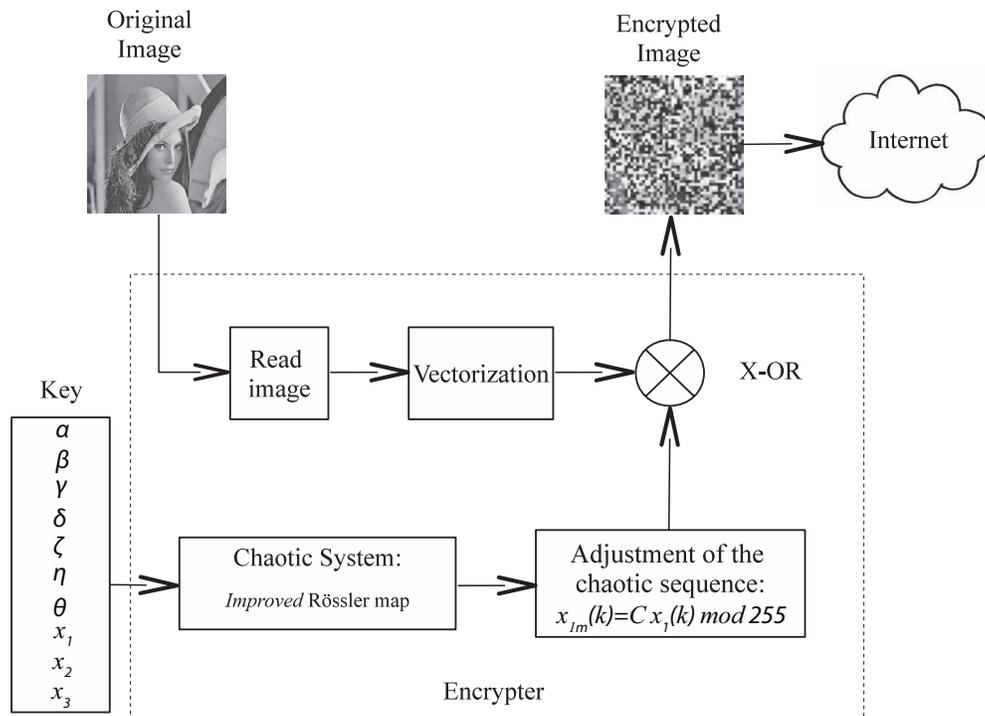


Figure 4. Block diagram of the hyperchaotic encrypter.

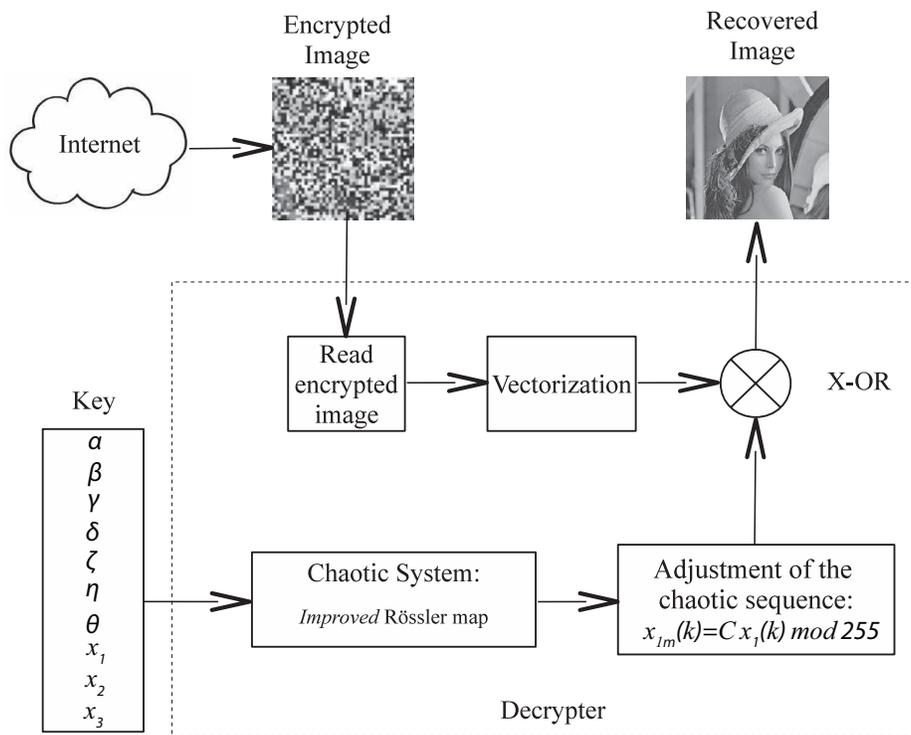


Figure 5. Block diagram of the hyperchaotic decrypter.

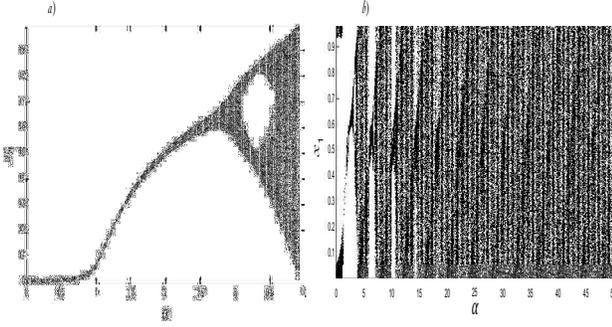


Figure 3. Graph of bifurcation in  $\alpha$  of the Rössler hyperchaotic map: a) original Rössler hyperchaotic map, b) improved Rössler hyperchaotic map .

### 3. Security analysis

From the image to analyze, either the original image or the cryptogram, at least 1000 pairs of adjacent pixels are taken (horizontally, vertically or diagonally) and their correlation coefficients [4] respectively are calculate, using the following equations:

$$r_{xy} = \frac{cov(x, y)}{\sqrt{D(x)} \sqrt{D(y)}}, \quad (2)$$

$$cov(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - E(x))(y_i - E(y)), \quad (3)$$

where  $cov(x, y)$  is the covariance,  $D(x)$  is the variance,  $x$  and  $y$  denotes the values in the gray scale of the image under analysis. For our calculations based on numerical computation, we use the following equation in discrete form:

$$E(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (4)$$

$$D(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - E(x))^2, \quad (5)$$

where  $E(x)$  is the average value of gray levels of the pixels.

#### 3.1. Differential attacks

To perform differential analysis attacks [4] and understand the differences between the encrypted images using two common measures NPCR (Number of Pixels Change Rate) and UACI (Unified Average Changing Intensity). These measures are used to test the influence of change of a pixel in the whole encrypted image.

**Number of pixels change rate (NPCR)** [4, 19, 22] Measures the percentage of the number of pixels between two different images and it can be calculated using the following expression:

$$NPCR = \frac{\sum_{i,j} \Delta(i, j)}{W \times H} \times 100\%, \quad (6)$$

where  $\Delta(i, j)$  is a binary arrangement:  $\Delta(i, j) = 0$ , if  $C_1(i, j) = C_2(i, j)$ , or  $\Delta(i, j) = 1$ , when  $C_1(i, j) \neq C_2(i, j)$ .  $C_1$  and  $C_2$  are encrypted images obtained with very similar keys (initial conditions).  $W$  and  $H$  define the size of the image under analysis.

**Unified average changing intensity (UACI)** [4, 19, 22]

Measures the average intensity of the difference between the two encrypted images ( $C_1$  and  $C_2$ ), using the expression:

$$UACI = \frac{1}{W \times H} \sum_{i,j} \frac{|C_1(i, j) - C_2(i, j)|}{255} \times 100\%, \quad (7)$$

where  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $W$  and  $H$  have the same meaning as in Eq. (6).

#### 3.2. Information entropy

In 1949, Claude E. Shannon [28, 29] introduced the mathematical foundations of Theory of the Information applied to communication and data storage. The information entropy is an approach that shows the randomness of the data. It can be used to assess the security of the encryption [22]. To calculate the entropy  $H(s)$  [6, 7, 16], of a source ( $s$ ), we have that

$$H(s) = \sum_{i=0}^{2^N-1} P(s_i) \cdot \text{Log}_2\left(\frac{1}{P(s_i)}\right), \quad (8)$$

where  $P(s_i)$  represents the probability of the symbol  $s_i$ . For a purely random source that emitting  $2^N$  symbols with equal probability, after evaluating the Eq. (8), we have an entropy  $H(s) = N$ , in this case, for images with pixels completely random in the scale of 8-bit gray, its entropy  $H(s) = 8$  bits. When the images are encrypted, their entropy should ideally be 8. When a cryptosystem emits symbols (cryptograms) with entropy less than 8, this cryptosystem has certain degree of predictability, so that its security is at risk [7].

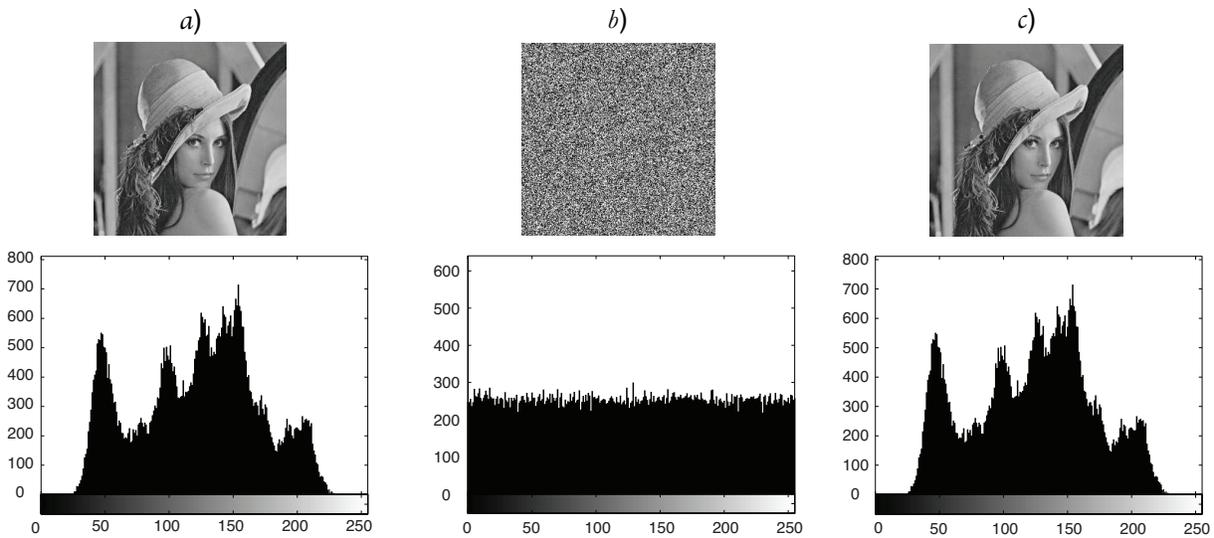


Figure 6. Top: a) original image, b) cryptogram, c) recovered image. Bottom: a) histogram of the original image, b) histogram of the cryptogram, c) histogram of the retrieved image.

#### 4. Results of the security analysis

##### 4.1. Statistical analysis

###### 4.1.1. Statistical histogram

Fig. 6a) shows the original image “Lena” and at the bottom shows the corresponding histogram. Fig. 6b) shows the encrypted image using the initial conditions as encryption key:  $x_1(0) = 0.10$ ,  $x_2(0) = 0.15$ ,  $x_3(0) = 0.01$ , in the lower part of Fig. 6b) is shown its corresponding histogram. It can be observed how the information is spread evenly among all shades of 0 to 255 in the gray scale. Under these conditions, we can say that the system is robust against attacks of statistical type. Fig. 6c) shows the recovered image in the receiver and its corresponding histogram in the bottom. It is observed that both, the recovered image and its histogram are equal to the original image.

###### 4.1.2. Correlation analysis of adjacent pixels

In this section, we examine the correlation between two horizontally, vertically and diagonally adjacent pixels. We randomly select 2400 pairs of pixels  $(x_i, y_i)$  of the image under analysis (original or encrypted) and with these pairs of adjacent pixels, the scatter plot is generated, i.e., the pixel  $x_i$  vs  $y_i$  is plotted. Then, the corresponding correlation coefficients  $r_{xy}$  are calculate, from the Eq. (2). By way of example, Figs. 7a) and 7b) show the distribution of correlation of two horizontally adjacent pixels of the original image “Lena” and the encrypted image, respectively. From Eq. (2), we obtain the corresponding correlation coefficients: 0.9249 and  $-0.0100$ .

Proceeding similarly, we obtain the correlation coefficients of two vertically and diagonally adjacent pixels for the original image “Lena” and its corresponding encrypted image. Table 1 shows the values obtained.

Table 1. Correlation coefficients of two adjacent pixels in the original image of “Lena” and its corresponding encrypted image, from  $x_1(0) = 0.10$ ,  $x_2(0) = 0.15$  and  $x_3(0) = 0.01$ .

Pixels	Original image	Encrypted image
Horizontal	0.9249	-0.0100
Vertical	0.9550	0.0305
Diagonal	0.9058	0.0278

##### 4.2. Differential attacks

To perform the analysis against differential attacks, we use very similar keys similar to encrypt the original image of “Lena”. We use as a first encryption key the values of:  $x_1(0) = 0.10$ ,  $x_2(0) = 0.15$  and  $x_3(0) = 0.01$ , obtaining the cryptogram  $C_1$ . The following key used is:  $x_1(0) = 0.10 + 1 \times 10^{-10}$ ,  $x_2(0) = 0.15$  and  $x_3(0) = 0.01$ , obtaining the cryptogram  $C_2$ . The difference between the keys used is  $1 \times 10^{-10}$  for  $x_1(0)$ . Using Eqs. (6) and (7), we obtain:  $NPCR = 99.5758\%$  and  $UACI = 33.4820\%$ . These result show that the algorithm is strong against differential attacks, because the NPCR is approximate to the ideal value of 100%. All our numerical calculus is based in to standard IEEE std 754 [26].

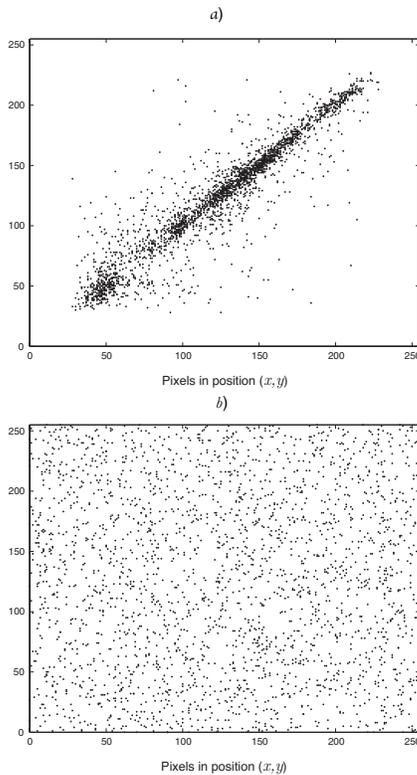


Figure 7. Correlation of two horizontally adjacent pixels: a) original image, b) encrypted image.

### 4.3. Information entropy

To evaluate the information entropy of the hyperchaotic encryption algorithm used in this paper, we use the Eq. (8). First, we calculated the probability of occurrence of each symbol (pixel), this is with the aid of the histogram of the cryptogram (Fig. 6). In the case of the cryptogram obtained with the encryption key  $x_1(0) = 0.10$ ,  $x_2(0) = 0.15$  and  $x_3(0) = 0.01$ , the calculated entropy is  $H(s_i) = 7.9984$  very close to the ideal value to  $H(s) = 8.0$  bits.

### 4.4. Speed performance

In this section, we present the analysis processing velocity of proposed encryption algorithm. The encryption speed of images (Lena) with different sizes by using the proposed scheme is shows in Table 2, that are obtained by specific commands of programming. The computer used in this test is 2.8 GHz Intel Core 2 Duo and 4 Gb 667 MHz. With such a speed, this cryptosystem encryption of digital images is efficient to be used for transmission through a public communication channel, where the encryption time should be short relative to the transmission time, like internet.

Table 2. Encryption/Decryption speed test result.

Image size (pixels)	Encryption/Decryption (s)
256 x 256	0.11
512 x 512	0.469
1024 x 1024	1.8365

## 5. Conclusions

Based on the improvement of the hyperchaotic dynamics of the Rössler map posed in this paper, we proposed a cryptosystem with the following characteristics: *i*) it has a simple logical structure, *ii*) it is efficient in terms of the demanded computational resources, *iii*) results of very competitive security levels are obtained, *iv*) physical implementation is easy, and *v*) it has a large key space, so the algorithm implemented follows the principles of Kerckhoffs and Shannon of cryptography. Under these conditions, we can suggest the application of the proposed cryptosystem, in applications of digital images encryption to be transmitted through a public communication channel like internet, or more so, in private communications systems through the use of embedded devices.

## Acknowledgments

This work was supported by CONACyT, Mexico under Research Grant No. 119168. It was also supported by the Internal Research Project of the Autonomous University of Baja California (UABC), through the 16th convocation of the Internal Research Projects, with the program number 1379 to practice in the years 2012-2014. The E.R.O. research is supported in his PhD studies by CONACyT.

## References

- [1] M.S. Baptista, "Cryptography with chaos," *Physics Letters A*, Vol. 240, pp. 50-54, March 1998.
- [2] G. Grassi and S. Mascolo, "A System Theory Approach for Designing Cryptosystems Based on Hiperchaos," *IEEE Trans. on Circuits and Systems - I: Fundamental Theory and Applications*, Vol. 46, No. 9, pp. 1135-1138, September 1999.
- [3] L. Kocarev and S. Lian, *Chaos-Based Cryptography: Theory, Algorithms and Applications*. Studies in Computational Intelligence, Vol. 354. Springer, 2011, p. 27.
- [4] G.Chen, Y. Mao and C.K. Chui, "A symmetric image encryption scheme based on 3D chaotic cat maps," *Chaos, Solitons and Fractals*, Vol. 21, pp. 749-761, 2004.
- [5] H. Gao, Y. Zhang, S. Liang and D. Li, "A new chaotic algorithm for image encryption," *Chaos, Solitons and Fractals*, Vol. 29, pp. 393-399, 2006.

- [6] S.Behnia, A. Akhshani, S. Ahadpour, H. Mahmodi and A. Akhavan, "A fast chaotic encryption scheme based on piecewise nonlinear chaotic maps," *Physics Letters A*, 240, pp. 50-54, March 1998.
- [7] S.Behnia, A. Akhshani, H. Mahmodi and A. Akhavan, "A novel algorithm for image encryption based on mixture of chaotic maps," *Chaos, Solitons and Fractals*, Vol. 35, pp. 408-419, 2008.
- [8] Q. Zhang, L. Guo and X. Wei, "Image encryption using DNA addition combining with chaotic maps," *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 52, pp. 2028-2035, 2010.
- [9] V. Patidar, N.K. Pareek, G.Purohit and K.K. Sud, "A robust and secure chaotic standard map based pseudorandom permutation-substitution scheme for image encryption," *Optics Communications*, Vol. 284, pp. 4331-4339, 2011.
- [10] F. Chong, L. Bin-bin, M. Yu-sheng, L. Xiao and C. Jun-jie, "A novel chaos-based bit-level permutation scheme for digital image encryption," *Optics Communications*, Vol. 284, pp. 5415-5423, 2011.
- [11] L. Zhengjun, G. Min, D. Yongkang, L. Feng, L. Shen, A.A. Muhammad, D. Jingmin and L. Shutian, "Double image encryption by using Arnold transform and discrete fractional angular transform," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 50, pp. 248-255, 2012.
- [12] A. Awad and D Awad, "Efficient Image Chaotic Encryption Algorithm with No Propagation Error," *ETRI Journal*, Vol. 32, No. 5, pp. 774-782, October 2010.
- [13] D. Moon, Y. Chung, S.B. Pan, K. Moon and K.II. Chung, "An Efficient Selective Encryption of Fingerprint Images for Embedded Processors," *ETRI Journal*, Vol. 28, No. 4, pp. 444-452, August 2006.
- [14] X. Wang and L. Yang, "A novel chaotic image encryption algorithm based on water wave motion and water drop diffusion models," *Optics Communications*, Vol. 285, pp. 4033-4042, 2012.
- [15] A.H. Abdullah, R. Enayatifar and M. Lee, "A hybrid genetic algorithm and chaotic function model for image encryption," *International Journal of Electronics and Communications AEÜ*, Vol. 66, pp. 806-816, 2012.
- [16] A. Akhshani, S. Behnia, A. Akhavan, H.A. Hassan and Z. Hassan, "A novel scheme for image encryption based on 2D piecewise chaotic maps," *Optics Communications*, Vol. 283, pp. 3259-3266, 2010.
- [17] T. Gao and Z. Chen, "A new image encryption algorithm based on hyper-chaos," *Physics Letters A*, Vol. 372, pp. 394-400, 2008.
- [18] R. Rhouma, S. Meherzi and S. Belghith, "OCML-based colour image encryption," *Chaos, Solitons and Fractals*, Vol. 40, pp. 309-318, 2009.
- [19] J. Peng, D. Zhang and L. Xiaofeng, "A Digital Image Encryption Algorithm Based on Hyper-chaotic Cellular Neural Network," *Fundamenta Informaticae*, Vol. 90, pp. 269-282, 2009.
- [20] S. Mazloom and A.M Eftekhari-Moghadam, "Color image encryption based on Coupled Nonlinear Chaotic Map," *Chaos, Solitons and Fractals*, Vol. 42, pp. 1745-1754, 2009.
- [21] L. Shubo, S. Jing and X. Zhengquan, "An Improved Image Encryption Algorithm based on Chaotic System," *Journal of Computers*, Vol. 44, No. 11, pp. 1091-1100, 2009.
- [22] M. Yongyi and D. Zichao, "A New Image Encryption Algorithm of Input-Output Feedback Based on Multi-chaotic System," *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 40-41, pp. 924-929, 2011.
- [23] O.E. RöSSLer, "An equation for hyperchaos," *Physics Letters*, Vol. 71A, No. 2, 3, pp. 155-157, April 1979.
- [24] E. Inzunza González, "Encriptado caótico en sistemas biométricos," Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño (FIAD), Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, B.C., México, Enero 2013.
- [25] Z. Hegui, Z. Cheng and Z. Xiangde, "A novel image encryption-compression scheme using hyper-chaos and Chinese remainder theorem," *Signal Processing: Image Communication*, Vol. 28, pp. 670-680, 2013.
- [26] IEEE Computer Society "IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic," *IEEE Std 754™*, pp. 1-58, 2008.
- [27] A. Kerckhoffs, "La cryptographie militaire," *Journal des sciences militaires*, Vol. IX, pp. 5-38, Janvier 1883.
- [28] C.E. Shannon, "Communication Theory of Secrecy Systems," *The Bell System Technical Journal*, Vol. 28, No. 4, pp. 656-715, 1949.
- [29] C.E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379-424, July 1948, pp. 623-656, October 1948.

# The Classification of Fragments of Objects by the Fourier Mask Digital System

Carolina Barajas-García<sup>a</sup>, Selene Solorza<sup>a</sup>, Josué Álvarez-Borrego<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias.  
km.103, Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México, C.P. 22860.  
 [{carolinab49,selene.solorza}@gmail.com](mailto:{carolinab49,selene.solorza}@gmail.com)

<sup>b</sup>Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, División de Física Aplicada.  
Carretera Ensenada-Tijuana No.3918, Frac. Zona Playitas, Ensenada, B.C., México, C.P. 22860.  
 [josue@cicese.mx](mailto:josue@cicese.mx)

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Abstract

The automation process of the pattern recognition for fragments of objects is a challenge to humanity. For humans it is relatively easy to classify a fragment of some object even if it is isolate and maybe this identification could be more complicated if it is partially overlapped by other object. However, the emulation of the functions of the human eye and brain by a computer is not a trivial issue. This paper presents a pattern recognition digital system based on Fourier binary rings mask to classify fragments of objects. The digital system is invariant to position and rotation, it is robust in the classification of images that have noise and non-homogenous illumination, moreover it classifies images that present an occlusion or elimination until the 15% of the area of the object.

*Keywords:* Pattern recognition, Image processing, Digital systems, Binary rings masks.

---

## 1. Introduction

One of the first tasks of a human being are the identification of the objects around him or her, therefore almost through their life, him or her will be dedicated to recognize patterns whether by necessity or just for curiosity. Nowadays, with almost all the production processes automated and the fast development of technology, the necessity to improve digital systems for pattern classification is increasing [1]. One of the challenge task in the pattern recognition field is to iden-

tify the pattern of the objects into images of the real world, because into those images could be that some of the objects are incomplete, that is, a fragment of the object is given only or either because the objects present occlusions or maybe they are not fully contained into the image. Then, the problem to recognize and to classify objects by a computer becomes a non-trivial issue. Because of this, the development of robust techniques to identify fragments of objects is necessary.

In this paper, is proposed a digital system based on a Fourier mask to classify fragments of objects in digital

images. This digital system is invariant to position and rotation, it is robust in classifying images with noise and non-homogenous illumination. Moreover, the system also classifies images that present an occlusion or elimination until the 15% of the area of the object. The paper is organized as follows: In section 2, the methodology to develop the digital system is presented. The classification framework is described in section 3. Finally, conclusions are shown in section 4.

## 2. The pattern recognition digital system

### 2.1. The Fourier mask

The mask of a selected gray scale image  $I(x, y)$ ,  $x = 1, \dots, n$ ,  $y = 1, \dots, n$  can be built by taking the imaginary part of its Fourier transform [2], that is,  $Im(FT(I(x, y)))$ ; for example, the imaginary part of the Fourier transform of Figure 1(a) is shown in Figure 1(b). Next, the image  $Im(FT(I(x, y)))$  is filtered by the binary disk mask  $D(x, y)$ ,

$$D(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } d((c_x, c_x), (x, y)) \leq n, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (1)$$

where  $(c_x, c_x)$  is the center-pixel of the image and  $d(p, q)$  is the euclidean-distance between  $p$  and  $q$  points, thus the  $D(x, y)$  image is centered in the  $(c_x, c_x)$ -pixel. Figure 1(c) presents a disk filter of diameter  $n$  and the  $Im(FT(I(x, y)))$  is filtered by  $D(x, y)$ , as shown in Figure 1(d), mathematically that operation is given by

$$f(x, y) = D(x, y) \circ Im(FT(I(x, y))), \quad (2)$$

where  $\circ$  means an element-wise product or Hadamard product [3]. For the image  $f(x, y)$ , 180 profiles of  $n$  pixels length that passes for  $(c_x, c_x)$  where obtained. They are separated by  $\Delta\theta = 1^\circ$ , sampling in this manner the entire disk. Figure 1(d) shows the zero-degree profile  $P^0(x)$ . In general, the profile equations are expressed as

$$P^\theta(x) = f(x, y(x)), \quad (3)$$

where  $x = 1, \dots, n$ ,  $y(x) = m(x - x_1) + y_1$ ,  $m$  is the slope of  $y$ ,  $(x_1, y_1) = (c_x + c_x \cos\theta, c_x - c_x \sin\theta)$  and  $(x_2, y_2) = (c_x + c_x \cos(\theta + \pi), c_x + c_x \sin(\theta + \pi))$  are the two distinct end points of that line segment and  $\theta$  is the angle that  $y$  has respect to the horizontal axis in the Cartesian plane (considering that the origin  $(0, 0)$  of the Cartesian plane are set at the center pixel of the image  $(c_x, c_x)$ ).

Then, the addition of the square of the intensity values in each profile is computed, that is,

$$S^\theta = \sum_{x=1}^n (P^\theta(x))^2, \quad (4)$$

and the profile whose sum has the maximum value will be selected,

$$\alpha_\beta = \max_{0 \leq \theta \leq 179} \{S^\theta\}, \quad T(x) = P^\beta(x), \quad (5)$$

where  $\beta$  is the angle of the profile in  $f(x, y)$  whose sum has the maximum value, hence, these profile is called the maximum intensity profile. For example, in Figure 1(d) is indicated the maximum intensity profile  $T(x)$  as a dashed-black line and Figure 1(e) shows the maximum intensity profile  $T(x)$  in the Cartesian plane. Next, based on equation (5) the  $Z(x)$  binary function (Figure 1(f)) is obtained,

$$Z(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } T(x) > 0, \\ 0, & \text{if } T(x) \leq 0. \end{cases} \quad (6)$$

for  $x = c_x, \dots, n$ . Finally, taking the vertical axis  $x = c_x$  as the rotation axis, the graph of  $Z(x)$  is rotated  $360^\circ$  to obtain concentric cylinders of height one, different widths and centered in  $(c_x, c_x)$  pixel. Taking a cross-section of those concentric cylinders, the binary rings mask associated to the given image is built. In Figure 1(g) the binary rings mask  $M(x, y)$  corresponding to the image in Figure 1(a) is shown.

### 2.2. The signature

The digital system uses the modulus of the Fourier transform of the image,  $|FT(I(x, y))|$ , because it is invariant to translation [4], that is,  $|FT(I(x, y))| = |FT(I(x + \tau, y + \zeta))|$  and  $\tau, \zeta \in \mathbb{R}$ , hence, the system is invariant to translation in an easy manner. To obtain the rotational invariance, signatures based on binary rings mask are build. The first step is to filter the modulus of the Fourier transform of the image by the binary rings mask. For example, the amplitude spectrum (Figure 2(b)) of Figure 2(a) is filtered by the binary rings mask  $M(x, y)$  (Figure 2(c)) as

$$H(x, y) = M(x, y) \circ |FT(I(x, y))|. \quad (7)$$

The result of equation (7) is presented in Figure 2(d). After that, the rings in  $H(x, y)$  are enumerated from inside to outside to obtain the following set,

$$Index = \{ring \ index : ring \ index \ x \in \bar{n}\}, \quad (8)$$

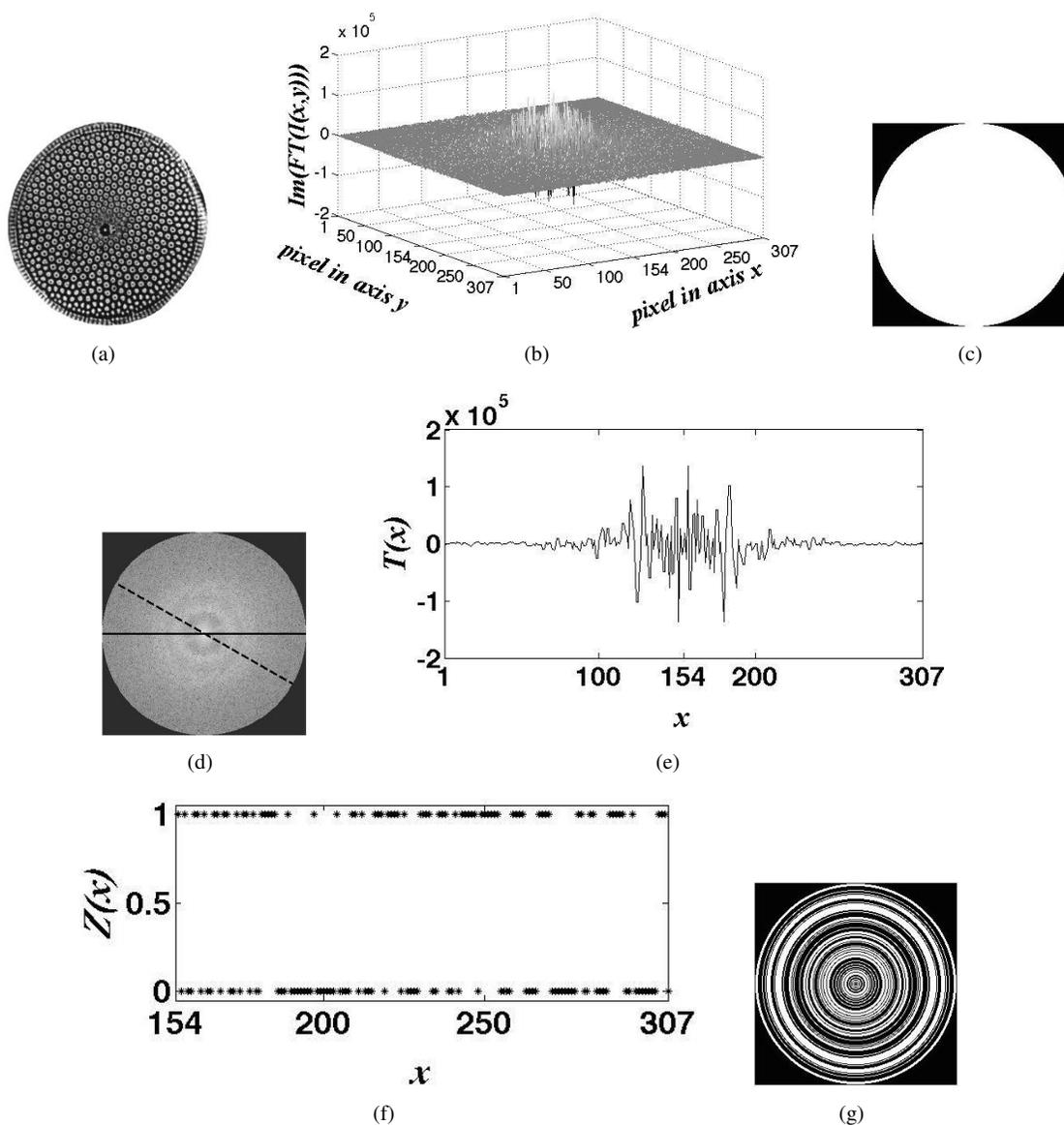


Figure 1. (a) Image  $I(x, y)$ . (b) Imaginary part of the Fourier transform of  $I(x, y)$ , that is  $Im(FT(I(x, y)))$ . (c) Binary disk  $D(x, y)$ . (d)  $f(x, y) = D(x, y) \circ Im(FT(I(x, y)))$ . The solid line shows the profile  $P^0(x)$  and the dashed line the profile  $T(x)$ . (e) Graph of the maximum intensity profile  $T(x)$ . (f) Graph of the binary function  $Z(x)$ . (g) Binary mask  $M(x)$ .

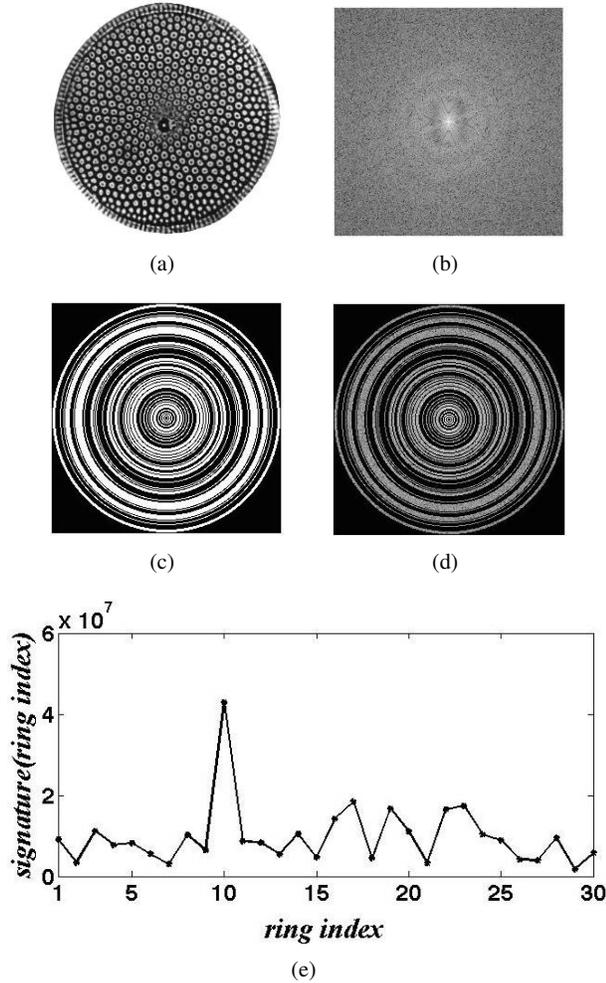


Figure 2. (a) Image  $I(x, y)$ . (b)  $|FT(I(x, y))|$ . (c) Binary mask  $M(x, y)$ . (d)  $H(x, y) = M(x, y) \circ |FT(I(x, y))|$ . (e) Signature of image  $I(x, y)$ .

where  $\bar{n} = \{1, \dots, n\}$ . The addition of the intensity values in each ring of  $H(x, y)$  are computed to build the function

$$\text{signature} = \text{index} \rightarrow A \subset \mathbb{R}, \quad (9)$$

$$\text{signature}(\text{ring index}) = \sum H, \text{ if } H(x, y) \text{ are in the ring index}.$$

Figure 2(e) show the signature constructed by the binary rings mask  $M(x, y)$ .

### 3. Classification

To perform the pattern recognition, first of all it is set the signature of each image of the target images data base,  $\beta_R = \{R_j \in M_{n \times n} : j = 1, \dots, k; k \in \mathbb{N}\}$ . Lets called  $S_{R_j}$  to those signatures. The pattern in the target image  $R_j$  is calculated by applying the Pearsons correlation

coefficient [5]

$$r_{R_j} = \frac{\max \{C_L(S_{R_j})\}}{(N - 1)\sigma_{S_{R_j}}^2}, \quad (10)$$

where  $N$  is the cardinality of the domain of  $S_{R_j}$  and  $\sigma_{S_{R_j}}$  is the standard deviation of the signature.  $C_L$  represents the linear correlation of two signatures  $S_1$  and  $S_2$ , given by

$$C_L(S_1, S_2) = FT^{-1} \{ |FT(S_2)| e^{i\phi} |FT(S_1)| e^{-i\varphi} \}, \quad (11)$$

here  $\varphi$  and  $\phi$  are the phases of the Fourier transform of the signatures  $S_1$  and  $S_2$ , respectively. The notation  $C_L(S_1)$  implies the autocorrelation function [4]. Analogously, the pattern in a problem image  $P$ , is set by [5]

$$r_P = \frac{\max \{C_L(S_{R_j}, S_P)\}}{(N - 1)\sigma_{S_{R_j}} \sigma_{S_P}}, \quad (12)$$

where  $S_P$  is the signature of the problem image and  $\sigma_{S_P}$  is the standard deviation of that signature. If  $r_P$  is similar to  $r_{R_j}$ , therefore  $P$  and  $R_j$  are the same, otherwise they are different.

To show that the signatures are invariant to rotation an experiment was conducted. Two pictures of the same object at different rotation angle were taken with a Panasonic camera, model Lumix DMC-FP3, the images were named  $I_1(x, y)$  and  $I_2(x, y)$  (Figure 3(a) and Figure 3(b) respectively). Figure 3(d) shows the signatures of  $I_1(x, y)$  and  $I_2(x, y)$  in dashed line and dashed line with asterisks respectively; In order to explain clarity, only the values of the outer rings are shown. As it is expected, both curves are practically the same, the small difference appears from the computers intrinsic round-off error due to the floating-point computation. On the other hand, when the image  $I_1(x, y)$  is rotated by a computer the *sawtooth* noise is presented like in Figure 3(c). That noise affects the signature of the image, as it is shown in Figure 3(d), where the dashed line with squares has the same trend like the dashed line but the values in some ring index are different. Therefore, when the images samples are taken in a microscope or in a digital camera, the signatures remain the same does not matter the rotation angle of the object.

To classify fragments of objects, the system will be trained using 150 images of each reference image  $R_j$ : 50 images without randomly 5% of the area of the object, 50 without 10% and 50 without 15%. Then, their

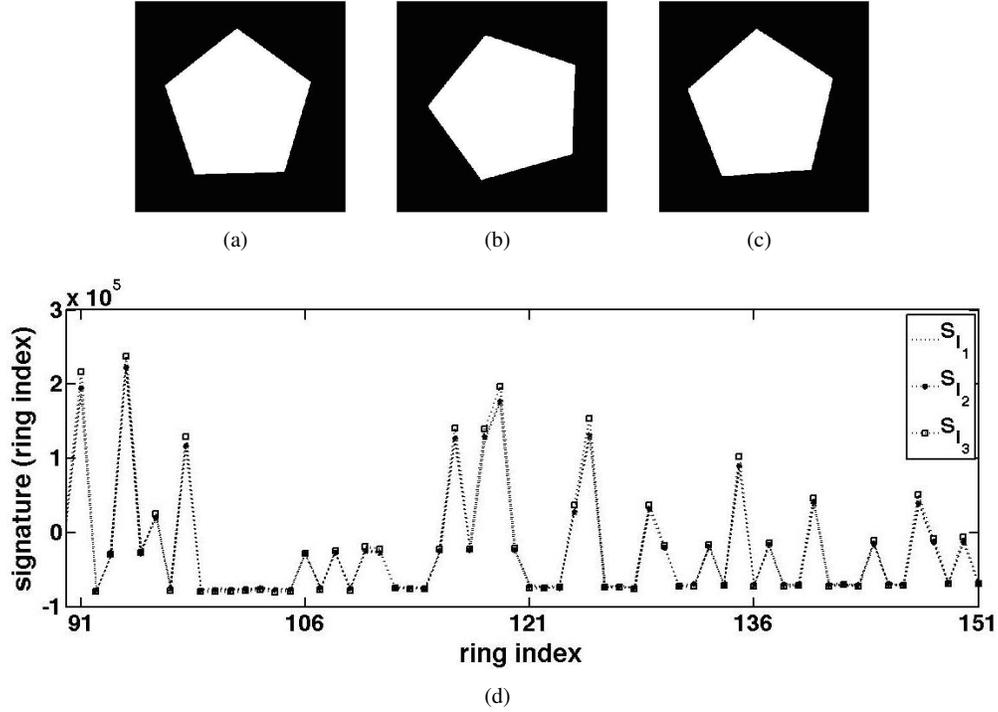


Figure 3. (a) Image  $I_1(x, y)$ . (b) Image  $I_2(x, y)$ . (c) Image  $I_3(x, y)$ . (d) The  $S_{I_1}$ ,  $S_{I_2}$  and  $S_{I_3}$  are the signatures of the images  $I_1(x, y)$ ,  $I_2(x, y)$  and  $I_3(x, y)$ , respectively.

corresponding Pearson's correlation coefficient  $r^k$ ,  $k = 1, \dots, 150$  were obtained. Because of  $\{r^k, k = 1, \dots, 150\}$  does not have a normal distribution, those values are normalised by the Z-Fisher transform to get the confidence interval for the correlation values [5]. The Z-Fisher value for  $r^k_{R_j}$  is given by

$$Z_{r^k_{R_j}} = 1.1513 \ln \left( \frac{1 + r^k_{R_j}}{1 - r^k_{R_j}} \right). \quad (13)$$

Thus, the 95% confidence interval for  $Z_{r^k_{R_j}}$  is

$$\left[ Z_{r^k_{R_j}}^-, Z_{r^k_{R_j}}^+ \right] = \left[ Z_{r^k_{R_j}} - 1.96 \sigma_Z, Z_{r^k_{R_j}} + 1.96 \sigma_Z \right], \quad (14)$$

with a standard deviation of  $\sigma_Z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$  and  $n = 151$  the size of the sample. Hence, the confidence interval for the correlation coefficient  $\rho_{r^k_{R_j}}$  is

$$\bar{\rho}_{r^k_{R_j}} \leq \rho_{r^k_{R_j}} \leq \rho_{r^k_{R_j}}^+, \quad (15)$$

where

$$\bar{\rho}_{r^k_{R_j}} = \frac{\exp(2Z_{r^k_{R_j}}^-) - 1}{\exp(2Z_{r^k_{R_j}}^-) + 1}, \quad \rho_{r^k_{R_j}}^+ = \frac{\exp(2Z_{r^k_{R_j}}^+) - 1}{\exp(2Z_{r^k_{R_j}}^+) + 1}. \quad (16)$$

For  $R_j$  there are 151 values of  $\bar{\rho}_{r^k_{R_j}}$  and another 151 values for  $\rho_{r^k_{R_j}}^+$  then the confidence interval of 95% to decide if a problem image and  $R_j$  are the same is given by

$$\left[ \min_{1 \leq k \leq 151} \left\{ \bar{\rho}_{r^k_{R_j}} \right\}, \max_{1 \leq k \leq 151} \left\{ \rho_{r^k_{R_j}}^+ \right\} \right]. \quad (17)$$

The digital system by Fourier mask was tested using, as target images database, 18 gray scale digital images of diatoms fossil. Those images were selected because of their similarity in their morphology. The problem images database has 2700 images (50 images of each diatom without randomly 5%, 10% and 15% of the area of the object). The digital system in Figure 4 classifies the problem images with a confidence level of 95%.

The same procedure presented in this work was previously performed using the Bessel binary rings mask [6] obtaining that the Bessel mask system recognize objects which have 15% of occlusion, but the Fourier mask digital system is a better option, because it is robust in the classification of images that have noise (like Gaussian additive noise or salt and pepper noise) and non-homogeneous illumination. A similar digital system was presented in [2], essentially the difference between that work and this; it is that the step for the classification

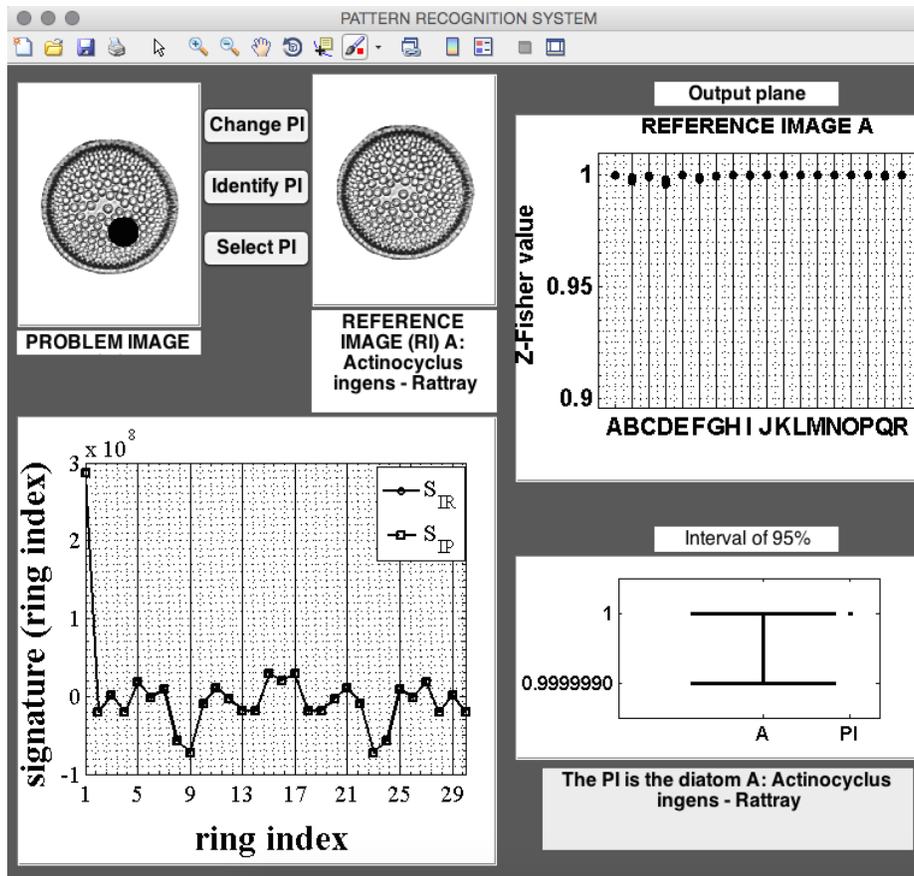


Figure 4. Pattern recognition digital system.

of the images is not achieved in [2]. In there, the confidence level of the system is determined by the boxplot technique. Here, by the Z-Fisher transform the classification step is obtained and a Matlab application was developed to classify fossil diatom digital images. Moreover, this system also classifies images that present fragments of objects.

#### 4. Conclusions

The digital system presented in this work has a confidence level of 95% in the classification of gray scale images, which is an excellent performance. The images to be identified could have a translation and rotation of the object, noise, non-homogenous illumination and the occlusion or elimination of a fragment until 15% in the area of the object.

#### Acknowledgements

This work was partially supported by CONACyT under grant No.169174. Carolina Barajas-García is a student in the MSc program MyDCI offered by Universidad

Autónoma de Baja California and she is supported by CONACyTs scholarship. The grammatical critical review of the manuscript by L.D.I Horacio Padilla Calderón is greatly appreciated. We also thank the unknown reviewers for excellent comments to improve this manuscript.

#### References

- [1] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, third edition. Pearson Education, Inc. New Jersey 2008.
- [2] J. Álvarez-Borrego, S. Solorza and M.A. Bueno-Ibarra. "Invariant Correlation to Position and Rotation Using a Binary Mask Applied to Binary and Gray Images", *Optics Communication*, 294, 105-107, 2013.
- [3] G.H. Golub and C.F. Van Loan, *Matrix Computations*, third edition. The Johns Hopkins University Press. Baltimore 1996.
- [4] H.P. Hsu, *Anlisis de Fourier*, Addison Wesley Longman de México S.A. de C.V. 1998.
- [5] A. Sánchez-Bruno and A. Borges del Rosal. "Transformación Z de Fisher para la determinación de intervalos de confianza del coeficiente de correlación de Pearson", *Psicothema*, vol. 17, No.1, 148-153,2005.
- [6] S. Solorza, C. Barajas-García and J. Álvarez-Borrego. "Digital system to classify images by Bessel masks", *To be published in the Journal of Physics: Conference Series enlightening the future*, 23rd Congress of the International Commission for Optics.

# A Full Analytical Solution to the Direct and Inverse Kinematics of the Pentaxis Robot Manipulator

Moisés Estrada Castañeda, Luis Tupak Aguilar Bustos, Luis A. González Hernández

Instituto Politécnico Nacional – Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital  
Av. Instituto Politécnico Nacional No. 1310, Mesa de Otay, Tijuana, B.C., México, 22510.  
[mestrada1304@alumno.ipn.mx](mailto:mestrada1304@alumno.ipn.mx) [laguilarb@ipn.mx](mailto:laguilarb@ipn.mx) [lgonzal@citedi.mx](mailto:lgonzal@citedi.mx)

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Abstract

In this paper, the kinematics of a 5-DOF robot manipulator was obtained. The direct kinematics was presented using the Denavit-Hartenberg convention and method. The inverse kinematics was obtained analytically and all possible solutions were found for each joint. The kinematic solution was verified experimentally by programming a kinematic solver for the MoveIt! ROS<sup>®</sup> platform.

*Keywords:* Kinematics, Robot Manipulator, 5-DOF, ROS

---

## 1. Introduction

The PENTAXIS robot was developed in Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI-IPN) in 1994 for industrial and educational purposes and since then has been acquired by other research Institutes in the region. Computation of direct and inverse kinematics plays an important role in trajectory generation, path or motion planning, position, and motion control of fully-actuated robots [1, 2].

The *direct-kinematics* consists in finding the base-coordinates of the end effector of the robot given the joint variables. The *inverse-kinematics* problem is opposite to the direct-kinematics problem, that is, it consists in determining the joint variables of a robot given the orientation and posture for the end effector in base coor-

dinates [3].

There exist many methods to find the direct kinematics. For a robot with few joints (up to three), the direct kinematics can be analytically obtained. For a robot with higher degrees-of-freedom, the Denavit-Hartenberg method [4] becomes suitable. On the other hand, the computation of the inverse kinematics is more complicated since several solutions (posture) can be obtained. There exist several softwares that find or solve the inverse-kinematics problem as the default kinematic solver in MoveIt! from ROS<sup>®</sup> [5] however, a solution cannot be found for certain Cartesian trajectories.

The contribution of this work is towards a construction of a software platform for the PENTAXIS under ROS<sup>®</sup> where it will help to program and record industrial tasks as path planning contouring, and peak-and-place opera-

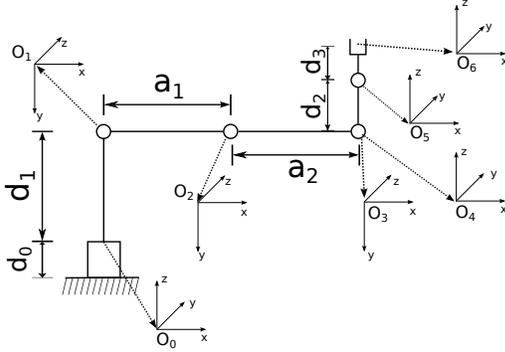


Figure 1. Coordinate frames for the PENTAXIS robot.



Figure 2. The PENTAXIS 5-DOF manipulator.

tions.

## 2. Anatomy of the Pentaxis Robot

The PENTAXIS is a 5-DOF robot manipulator with its joints of type revolute. When the robot is at its vertical pose, it will reach a height of  $106 \pm 0.05$  cms if measured from its base to the tip of its end-effector which is a gripper. Every joint, including the end-effector, is driven by a stepper motor. The coordinate frames for the manipulator is shown in Fig. 1.

## 3. Forward Kinematics

The Denavit-Hartenberg (D-H) convention was used to derive the direct kinematics. The direct kinematics is a set of equations which is used to calculate the position and orientation of the end-effector from a given joint values by applying the D-H method to the coordinate frames depicted in Fig. 1. The D-H parameters are shown in Table 1.

The transformation matrix between two consecutive frames, denoted as  $T$ , is composed of the multiplication of the following homogeneous transformations matrices,

Table 1. The D-H parameters of the PENTAXIS robot.

Frame $i$	$\theta_i$	$(d_i \pm 0.05)$ cms	$(a_i \pm 0.05)$ cms	$\alpha_i$ deg
0	-	15.2	0	0
1	$\theta_1$	25.9	0	-90
2	$\theta_2$	0	25.2	0
3	$\theta_3$	0	25.0	0
4	$\theta_4$	0	0	90
5	$\theta_5$	3.5	0	0
6	-	12.1	0	0

denoted as  $A_i$ :

$$A_i = \mathbf{Rot}(z, \theta_i) \cdot \mathbf{Trans}(0, 0, d_i) \cdot \mathbf{Trans}(a_i, 0, 0) \cdot \mathbf{Rot}(x, \alpha_i)$$

$$= \begin{pmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i) \sin(\alpha_i) & a_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i) \sin(\alpha_i) & a_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

where  $\mathbf{Rot}(z, \theta_i)$  denotes the rotation of  $\theta_i$  around the  $z$  axis,  $\mathbf{Trans}(0, 0, d_i)$  is the translation of  $d_i$  length,  $\mathbf{Trans}(a_i, 0, 0)$  is the translation of  $a_i$  length, and  $\mathbf{Rot}(x, \alpha_i)$  denotes the rotation of  $\alpha_i$  around the  $x$  axis. For the PENTAXIS robot, the transformation matrix from the base (frame 0) to the final effector (frame 6) is specifically expressed as

$$T_6^0 = \prod_{i=0}^6 A_i = \begin{pmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{n} = \begin{pmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Here,  $\mathbf{p} = [p_x \ p_y \ p_z]^T \in \mathbb{R}^3$  is the position vector and  $\mathbf{n}$  is the  $3 \times 3$  orientation matrix of the end-effector. The following set of equations are regarded as the direct kinematics for the PENTAXIS robot:

$$n_x = c_{234}c_1c_5 - s_1s_5 \quad (3)$$

$$n_y = c_{234}s_1c_5 + c_1s_5 \quad (4)$$

$$n_z = -s_{234}c_5 \quad (5)$$

$$o_x = -c_{234}c_1s_5 - s_1c_5 \quad (6)$$

$$o_y = -c_{234}s_1s_5 + c_1c_5 \quad (7)$$

$$o_z = s_{234}s_5 \quad (8)$$

$$a_x = s_{234}c_1 \quad (9)$$

$$a_y = s_{234}s_1 \quad (10)$$

$$a_z = c_{234} \quad (11)$$

$$p_x = c_1[a_2c_2 + a_3c_{23} + (d_5 + d_6)s_{234}] \quad (12)$$

$$p_y = s_1[a_2c_2 + a_3c_{23} + (d_5 + d_6)s_{234}] \quad (13)$$

$$p_z = d_0 + d_1 - a_2s_2 - a_3s_{23} + (d_5 + d_6)c_{234} \quad (14)$$

where  $c_i = \cos(\theta_i)$ ,  $s_i = \sin(\theta_i)$ ,  $c_{ij} = \cos(\theta_i + \theta_j)$ ,  $s_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j)$ ,  $c_{ijk} = \cos(\theta_i + \theta_j + \theta_k)$ , and  $s_{ijk} = \sin(\theta_i + \theta_j + \theta_k)$ .

## 4. Inverse Kinematics

The analytic inverse kinematics consists of finding  $\theta_1$  to  $\theta_5$  algebraically from the set equations (3)–(14).

### 4.1. Solutions for $\theta_1$

#### 4.1.1. First solution

From equations (12) and (13) the following solution is obtained:

$$\theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{p_y}{p_x}\right). \quad (15)$$

#### 4.1.2. Second solution

A second solution for  $\theta_1$  can be obtained from (10) and (9), that is,

$$\theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{a_y}{a_x}\right). \quad (16)$$

#### 4.1.3. Third solution

Another solution may be derived, from equations (3) and (7) we first solve them for  $s_1 s_5$ , equate them, then substitute  $c_{234}$  from (11) and finally solve for  $c_1 c_5$  we have:

$$c_1 c_5 = \frac{o_y - a_z n_x}{1 - a_z^2}. \quad (17)$$

Similar to (17), it is possible to obtain the following relation by now taking into account (4) and (6):

$$s_1 s_5 = \frac{-o_x - a_z n_y}{1 - a_z^2}. \quad (18)$$

Therefore, dividing (18) by (17) and solving for  $\theta_1$  we have a third solution:

$$\theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{-o_x - a_z n_y}{o_y - a_z n_x}\right). \quad (19)$$

#### 4.1.4. Fourth solution

A fourth solution may be obtained by applying a similar method for this last solution. Starting from (7) and (3), solving them for  $c_1 c_5$ , equate them, substitute  $c_{234}$  from (11) and finally solve for  $s_1 s_5$  we have:

$$s_1 s_5 = \frac{n_x - a_z o_y}{a_z^2 - 1}. \quad (20)$$

We derive a similar equation as (20), by now taking into account (6) and (4) we have:

$$c_1 s_5 = \frac{-n_y - a_z o_x}{a_z^2 - 1}. \quad (21)$$

Dividing (20) by (21) and solving for  $\theta_1$  we have the fourth solution:

$$\theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{n_x - a_z o_y}{-n_y - a_z o_x}\right). \quad (22)$$

#### 4.1.5. Fifth solution

From equations (3) and (6) we solve for  $c_{234}$  and then equate them, thus:

$$s_1 = \frac{-s_5 n_x - c_5 o_x}{2}, \quad (23)$$

similarly from equations (4) and (7) we have:

$$c_1 = \frac{s_5 n_y + c_5 o_y}{2}. \quad (24)$$

Therefore from the previous two equations the fifth solution is obtained:

$$\theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{-s_5 n_x - c_5 o_x}{s_5 n_y + c_5 o_y}\right). \quad (25)$$

In this last solution there is a dependency on  $\theta_5$ , however there are solutions for  $\theta_5$  in which there is no dependency on any other unknown variable, as it is shown further in this document.

#### 4.1.6. Sixth solution

When the arm of the robot is at the upright position the above solutions will have a “zero by zero division”. To avoid such singularity we set  $\theta_5$  to zero, therefore another solution is derived. From Eqs. (6) and (7) we have the following:

$$s_1 = -o_x, \quad c_1 = o_y,$$

therefore solution six is:

$$\theta_1 = \text{atan2}\left(\frac{-o_x}{o_y}\right). \quad (26)$$

## 4.2. Solutions for $\theta_5$

### 4.2.1. First solution

From equations (8) and (5) we easily find the first solution for  $\theta_5$ :

$$\theta_5 = \text{atan2}\left(\frac{-o_z}{n_z}\right). \quad (27)$$

### 4.2.2. Second solution

Equations (3) and (7) are solved for  $c_1c_5$ , equating them, substituting  $c_{234}$  from (11) and solving for  $s_1s_5$  we have:

$$s_1s_5 = \frac{o_y a_z - n_x}{1 - a_z^2}. \quad (28)$$

Analogously to the last equation we derive a second one, by now taking into account (6) and (4) we have:

$$s_1c_5 = \frac{-o_x - a_z n_y}{1 - a_z^2}. \quad (29)$$

Dividing (28) by (29) and solving for  $\theta_2$  we have the second solution:

$$\theta_5 = \text{atan2} \left( \frac{o_y a_z - n_x}{-o_x - a_z n_y} \right). \quad (30)$$

### 4.2.3. Third solution

The derivation of the third solution for  $\theta_3$  is very similar from this last solution. From (7) we solve for  $s_1s_5$ , substitute that result into (3) and finally solve for  $c_1c_5$ , we have:

$$c_1c_5 = \frac{n_x a_z + o_y}{a_z^2 - 1}. \quad (31)$$

From (6) we solve for  $s_1c_5$ , substituting that result into (4) and finally solving for  $c_1s_5$ , we have:

$$c_1s_5 = \frac{-n_y - a_z o_x}{a_z^2 - 1}. \quad (32)$$

Dividing (32) by (31) and solving for  $\theta_5$  we finally have the third solution:

$$\theta_5 = \text{atan2} \left( \frac{-n_y - a_z o_x}{o_y + a_z n_x} \right). \quad (33)$$

### 4.2.4. Fourth solution

From equations (3) and (4) we solve for  $c_{234}$  and then equate them, thus:

$$s_5 = \left( \frac{c_1 n_y - s_1 n_x}{2} \right), \quad (34)$$

similarly from equations (6) and (7) we have:

$$c_5 = \left( \frac{c_1 o_y - s_1 o_x}{2} \right). \quad (35)$$

Therefore solution four is derived:

$$\theta_5 = \left( \frac{c_1 n_y - s_1 n_x}{c_1 o_y - s_1 o_x} \right). \quad (36)$$

### 4.3. Solutions for $\theta_3$

From Eqs. (12)–(14) the following terms may be derived:

$$a_2c_2 + a_3c_{23} = \Gamma, \quad a_2s_2 + a_3s_{23} = \Omega, \quad (37)$$

where  $\Gamma$  is any of the following terms derived from the combination of (12) and (13) with (5), (8), (9), (10):

$$\begin{aligned} \Gamma &= \frac{p_x}{c_1} + (d_5 + d_6) \frac{n_z}{c_5} = \frac{p_x}{c_1} - (d_5 + d_6) \frac{o_z}{s_5} \\ &= \frac{p_x}{c_1} - (d_5 + d_6) \frac{a_x}{c_1} = \frac{p_x}{c_1} - (d_5 + d_6) \frac{a_y}{s_1} \\ &= \frac{p_y}{s_1} + (d_5 + d_6) \frac{n_z}{c_5} = \frac{p_y}{s_1} - (d_5 + d_6) \frac{o_z}{s_5} \\ &= \frac{p_y}{s_1} - (d_5 + d_6) \frac{a_x}{c_1} = \frac{p_y}{s_1} - (d_5 + d_6) \frac{a_y}{s_1}, \end{aligned}$$

and  $\Omega$  is any of the following terms derived from the combination of (14) with (3), (4), (6), (7), (11):

$$\begin{aligned} \Omega &= \epsilon + (d_5 + d_6) \frac{n_x + s_1s_5}{c_1c_5} = \epsilon + (d_5 + d_6) \frac{n_y - c_1s_5}{s_1c_5}, \\ &= \epsilon + (d_5 + d_6) \frac{-o_x - s_1c_5}{c_1s_5} = \epsilon + (d_5 + d_6) \frac{-o_y + c_1c_5}{s_1s_5} \\ &= \epsilon + (d_5 + d_6)a_z, \end{aligned}$$

here  $\epsilon = d_0 + d_1 - p_z$ .

The square of the sum of Eqs. (37) will give us:

$$a_2^2 + 2a_2a_3(c_2c_{23} + s_2s_{23}) + a_3^2 = \Gamma^2 + \Omega^2. \quad (38)$$

Because  $c_2c_{23} + s_2s_{23} = c_3$ , we can write:

$$c_3 = \left( \frac{\Gamma^2 + \Omega^2 - a_2^2 - a_3^2}{2a_2a_3} \right), \quad s_3 = \pm \sqrt{1 - c_3^2}.$$

In the above equation, we interpret the positive square root for when the robot elbow (joint 3) is up and the negative for when the elbow is down. Thus we have:

$$\theta_3 = \text{atan2} \left( \frac{\pm \sqrt{1 - c_3^2}}{\left( \frac{\Gamma^2 + \Omega^2 - a_2^2 - a_3^2}{2a_2a_3} \right)} \right). \quad (39)$$

### 4.4. Solutions for $\theta_2$

From the preceding Subsection, Eqs. (37) may be expressed as follows:

$$(a_2 + a_3c_3)c_2 - (a_3s_3)s_2 = \Gamma, \quad (a_3s_3)c_2 + (a_2 + a_3c_3)s_2 = \Omega. \quad (40)$$

From above equations, we may find a solution for  $s_2$  and  $c_3$ , and the combination of those solutions yield:

$$\theta_2 = \text{atan2} \left( \frac{(a_2 + a_3c_3)\Omega - (a_3s_3)\Gamma}{(a_2 + a_3c_3)\Gamma + (a_3s_3)\Omega} \right). \quad (41)$$

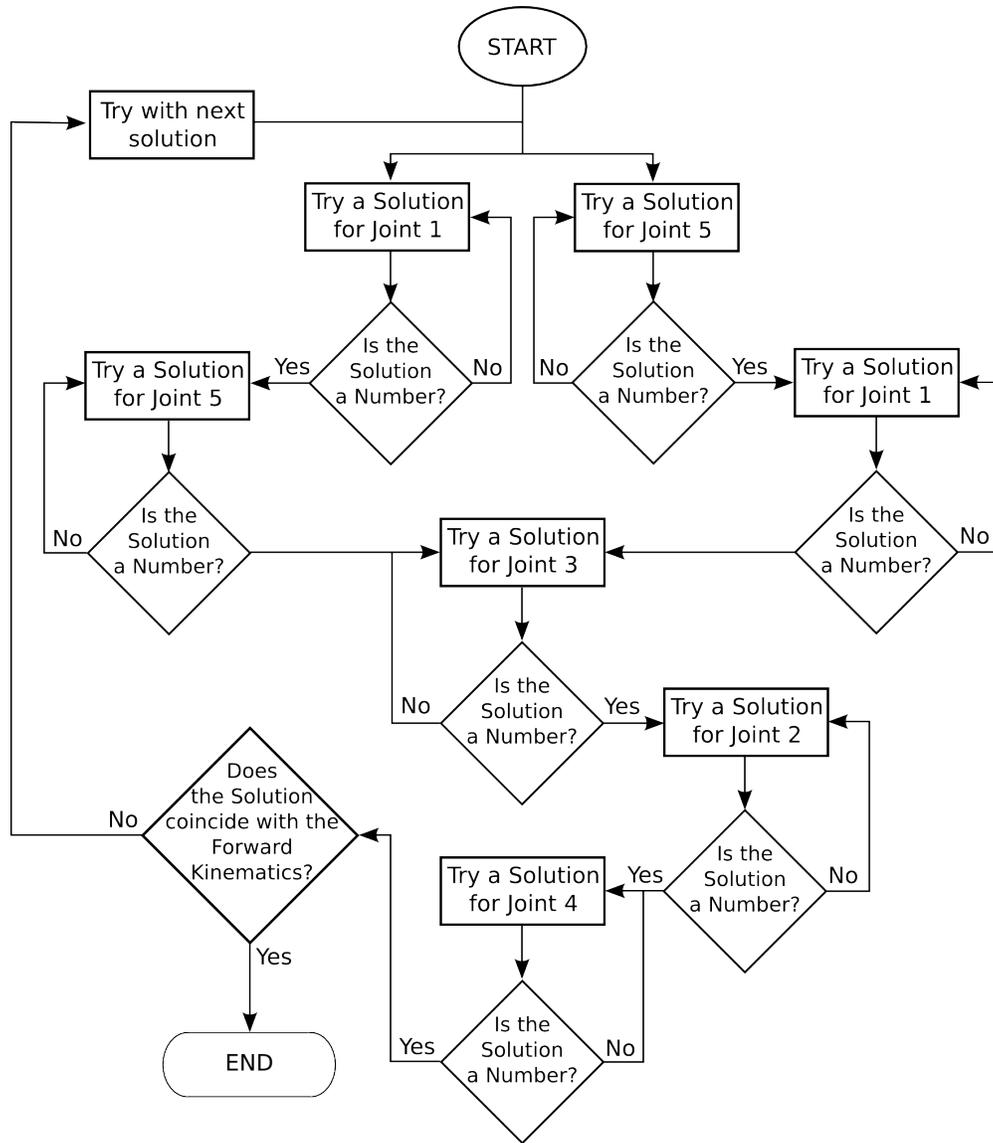


Figure 3. Flowchart of the Inverse Kinematic algorithm.

#### 4.5. Solutions for $\theta_4$

The solution of  $\theta_4$  can be straightforwardly found from the set of Eqs.

$$s_{234} = s_{23}c_4 + c_{23}s_4, \quad c_{234} = c_{23}c_4 - s_{23}s_4, \quad (42)$$

where variables  $\theta_2, \theta_3$  are known. By means of the many algebraic methods for solving linear equations, we find an equation for  $s_4$  and another for  $c_4$ , dividing them yields:

$$\theta_4 = \text{atan2} \left( \frac{c_{23}s_{234} - s_{23}c_{234}}{s_{23}s_{234} + c_{23}c_{234}} \right). \quad (43)$$

Here,  $c_{234}$  and  $s_{234}$  is given by:

$$\begin{aligned} c_{234} &= \frac{n_x + s_1s_5}{c_1c_5} = \frac{n_y - c_1s_5}{s_1c_5} = \frac{-o_x - s_1c_5}{c_1s_5} = a_z \\ &= \frac{-o_y + c_1c_5}{s_1s_5} = \frac{[p_z - (d_0 + d_1) + a_2s_2 + a_3s_{23}]}{d_5 + d_6}, \\ s_{234} &= -\frac{n_z}{c_5} = \frac{o_z}{s_5} = \frac{1}{d_5 + d_6} \left( \frac{p_x}{c_1} - a_2c_2 - a_3c_{23} \right) \\ &= \frac{a_x}{c_1} = \frac{a_y}{s_1} = \frac{1}{d_5 + d_6} \left( \frac{p_x}{s_1} - a_2c_2 - a_3c_{23} \right). \end{aligned}$$

#### 5. Implementation and experimental results

In order to test our results we created a MoveIt! Kinematics Plugin [6] for the ROS platform, then four different Cartesian paths was given for the robot's end effector to

follow. The flowchart that represents the implemented algorithm for the inverse kinematics is shown in figure 3. We have let out the forward kinematics flowchart algorithm since its implementation is straightforward. A video has been recorded showing the robot following four paths: a rectangle, a circle, an ellipse, and a sine function. These paths were not possible to be calculated by the *Movel!* Motion Planner while using the default kinematic solver (the *KDL kinematics* numeric solver). The video is available in the following URL: [https://www.youtube.com/watch?v=G1\\_mZR0w330](https://www.youtube.com/watch?v=G1_mZR0w330).

## 6. Conclusions

This document presents the forward and inverse kinematics of a 5-DOF robot manipulator. The forward kinematics was derived using the Denavit-Hartenberg notation, where a set of twelve equations were obtained. For the inverse kinematics many solutions were given for each joint, for which in some cases there will be redundancy and for other cases there is only a unique solution. The implementation for the direct kinematics is straightforward. However there may be many kinds of implementations for the inverse kinematics. In this paper, we used a backtrack kind algorithm, then from the set of solutions that were obtained, a comparison with the forward kinematics would indicate the correct one. This implementation of an analytic kinematic solver is novel in regards that it deals with redundancy and singularities, and also it is fast enough to come up with the solution so that the end user is able to interact with the ROS<sup>®</sup>'s Rviz visualizer in real time.

## References

- [1] Reza N. Jazar. "Theory of Applied Robotics. Kinematics, Dynamics, and Control", *Springer*, 2nd Edition, 2010.
- [2] J. Q. Gan, E. Oyama, E. M. Rosales and H. Hu. "A complete analytical solution to the inverse kinematics of the Pioneer 2 robotic arm", *Robotica*, Cambridge University Press, Vol. 23, pages 123–129, 2005.
- [3] F. L. Lewis, D. M. Dawson and C. T. Abdallah, "Robot Manipulator Control: Theory and Practice", *Marcel Dekker*, 2nd Edition, New York, 2006.
- [4] L. Sciavicco and B. Siciliano, "Modeling and Control of Robot Manipulators", *Springer*, 2nd Edition, 2010.
- [5] I. A. Sucan and S. Chitta, "Movel!", <http://moveit.ros.org>, April 2014.
- [6] I. A. Sucan and S. Chitta, "Movel!", [http://moveit.ros.org/wiki/Kinematics/Custom\\_Plugin](http://moveit.ros.org/wiki/Kinematics/Custom_Plugin), April 2014.
- [7] D. Xu, C. A. Acosta Calderon, J. Q. Gan and H. Hu. "An Analysis of the Inverse Kinematics for a 5-DOF Manipulator", *International Journal of Automation and Computing*, Vol. 2, pages 114–124, 2005.

# Disciplinando Equipos Pequeños con Prácticas Ágiles

Erick Orlando Matla Cruz, Miguel Ehécatl Morales Trujillo, David Velázquez Portilla

*División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.  
Unidad de Posgrado, Circuito de Posgrados, Ciudad Universitaria (Zona Cultural), Distrito Federal, México, 04510.  
ematla@fmposgrado.unam.mx, davepo@fmposgrado.unam.mx, http://www.sidep.fmposgrado.unam.mx  
Grupo de Investigación KUALI-KAANS, Universidad Nacional Autónoma de México.  
Ciudad Universitaria, Distrito Federal, México, 04510.  
migmor@ciencias.unam.mx, http://www.kuali-kaans.mx*

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

En este trabajo se presenta una metodología de desarrollo de software híbrida, basada en SCRUM y la norma ISO/IEC 29110, diseñada por el Departamento de Cómputo de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Medicina de la UNAM. Esta metodología híbrida pretende guiar a equipos pequeños que desean desarrollar software inmerso en un entorno con requerimientos cambiantes y cliente en sitio, sin descuidar la generación de la documentación adecuada.

*Palabras clave:* Equipos pequeños, Historia de Usuario, Metodología híbrida, SCRUM.

---

## 1. Introducción

En la actualidad la Ingeniería de Software ha cobrado gran importancia debido a la presencia del software en prácticamente cualquier entorno en el que la información debe ser manipulada. La diversidad de organizaciones que basan o apoyan sus procesos y lógicas de negocio en software hace de éste una herramienta indispensable para atender las cada vez más numerosas y específicas necesidades de los clientes. En consecuencia la creación de software a la medida, desarrollado con el fin de apoyar las actividades de administración y control de datos específicas de un cliente, es un servicio en constante crecimiento al que recurren las organizaciones, ya sea de manera externa, al con-

tratar el desarrollo o de manera interna, asignando el proyecto a un área perteneciente a la misma organización.

Tal es el caso de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Medicina (DEP-FM) de la Universidad Nacional Autónoma de México, siendo esta División la institución que brinda el mayor número de programas de especializaciones médicas en México. La DEP-FM cuenta con 78 especialidades y 106 sedes académicas en donde son impartidos 601 cursos de especialización por 1539 profesores. Entre sus principales operaciones se tienen: el control de sedes, cursos, profesores y alumnos además de procesos administrativos como el pago de nómina, registro de currículum vitae y otros servicios internos.

Debido al volumen de información y procesos a los que debe hacer frente la DEP-FM, ésta tuvo que recurrir a la alternativa del software como herramienta de apoyo para sus actividades, razón por la cual consolidó el Departamento de Cómputo (DC), organismo interno de la División, quien además de administrar los sistemas existentes y analizar la problemática de los mismos, tiene a su cargo la tarea de desarrollar nuevos sistemas que cumplan con la creciente gama de actividades desarrolladas en la División.

Desde el inicio de su labor, el DC se enfrentó a que sistemas, cuya administración le fue heredada, presentaban oportunidades de mejora en cuanto a cuestiones de integridad de datos, funcionalidad e interacción con el usuario. Estas cuestiones a lo largo del tiempo derivaron en dificultades para sus usuarios y sobre todo para los nuevos administradores/desarrolladores, entre las que destacan:

- La dificultad de encontrar a los stakeholders/usuarios adecuados.
- La poca o nula documentación de sistemas heredados por otras dependencias al DEP-FM
- La alta rotación de personal dedicado al desarrollo de software
- La invariable de contar con un equipo reducido, nunca más de 3 personas, dentro del DC.

Siendo así, la inquietud constante dentro del DC que motivó este trabajo fue buscar una respuesta a:

- ¿Cómo desarrollar “buen” software a la medida?
- ¿Cómo identificar necesidades de cada uno de los clientes y usuarios?
- ¿Cómo responder adecuadamente a los constantes cambios? este último fuertemente ligado al mantenimiento de dichos sistemas.

Bajo el contexto anterior, este trabajo presenta una metodología de desarrollo de software, concebida por el DC de la DEP-FM, que actualmente sirve como guía para analizar, diseñar y construir software bajo las restricciones de requerimientos difusos y cambiantes, cliente en sitio, equipo reducido y necesidad de documentación precisa y actualizada.

La estructura de este artículo incluye en la sección 2 una descripción de las metodologías de desarrollo de software vistas desde la perspectiva tradicional y ágil. En la sección 3 se describe la metodología híbrida de desarrollo propuesta, en la sección 4 son presentados

los resultados obtenidos de la aplicación de esta metodología, finalmente se concluye y se proyecta el trabajo futuro.

## 2. Metodologías de Desarrollo de Software

La Ingeniería de Software es la disciplina de la ingeniería que estudia la naturaleza, los enfoques y metodologías de desarrollo a gran escala del software [1]. La Ingeniería de Software es un proceso que involucra métodos, herramientas y técnicas que guían a un equipo de trabajo a lo largo del proceso de desarrollo de software y que tienen como fin la construcción de software.

De manera genérica, un proceso de desarrollo de software se compone de 6 etapas: Análisis, Diseño, Construcción, Integración, Pruebas y Liberación. Cada una de las cuales agrupa actividades específicas que son ejecutadas de acuerdo a la metodología elegida por el equipo de trabajo.

Una metodología de desarrollo de software es el marco utilizado para estructurar, organizar y controlar el proceso para producir software, las metodologías de desarrollo de software pueden agruparse de acuerdo a dos grandes enfoques: Ágil o Tradicional. En las siguientes subsecciones se explicará cada una de ellas.

### 2.1. Metodologías Ágiles

Diseñadas principalmente para equipos reducidos en contextos donde es posible involucrar al cliente como parte integral del equipo de desarrollo, estas metodologías siguen un desarrollo iterativo e incremental en donde el progreso es medido de acuerdo al software funcional liberado al término de cada iteración.

Las iteraciones se dan en periodos cortos de tiempo y buscan minimizar el impacto de los cambios a los largo del proyecto. La filosofía ágil potencializa al equipo y le otorga un mayor control sobre sus actividades, permitiéndole a sus integrantes concentrarse en entregar software funcional de calidad de manera ágil.

Las ideas anteriores se derivan del Manifiesto Ágil [2], escrito que concentra la filosofía en la que se basan metodologías ágiles como SCRUM [3], XP [4], KANBAN [5] o Lean [6], siendo SCRUM la más popular y el ejemplo más representativo.

SCRUM se define como un proceso iterativo e incremental, dirigido por un conjunto de prácticas y roles que sirven como base para la planeación de un proyecto.

De acuerdo con [3] estos roles son:

- Product Owner (PO) quien representa la voz del

cliente y se asegura de que el equipo trabaje de forma adecuada desde la perspectiva del negocio.

- SCRUM Master (SM) cuyo trabajo es eliminar los obstáculos que impiden que el equipo alcance el objetivo del sprint.
- Equipo de Trabajo que tiene la responsabilidad de entregar el producto de software funcionando.

El desarrollo en SCRUM se divide en iteraciones cortas llamadas *sprints*, tras cada sprint el equipo de desarrollo entrega un producto funcional al cliente. Las características que debe cumplir dicho entregable se encuentran especificadas en un documento llamado: *Product Backlog*. Además existen reuniones diarias *Daily SCRUM* o *Stand-up meeting* en las cuales los integrantes del equipo de desarrollo hacen del conocimiento del SM los problemas encontrados o bien los avances que se van dando en el desarrollo del proyecto. El *Daily SCRUM* como su nombre lo indica, se realiza todos los días, su duración no excederá los 15 minutos y cada miembro del equipo debe responder 3 preguntas específicas:

- ¿Qué has hecho desde ayer?
- ¿Qué es lo que harás hasta la reunión de mañana?
- ¿Has tenido algún problema que te haya impedido alcanzar tu objetivo?

Otra particularidad de las metodologías ágiles es la manera en que se da el levantamiento de requerimientos, ya que en este tipo de metodologías se aprovecha el hecho de que el cliente es parte del equipo de trabajo. Una técnica popular para realizar esta actividad son las Historias de Usuario (HU) [7], las cuales son capturadas en tarjetas que contienen por un lado, la descripción del requerimiento en lenguaje coloquial debido a que son narradas y escritas por el cliente que requiere la funcionalidad. Mientras que por el otro lado se indica cómo será probada dicha funcionalidad ya que ésta sea implementada.

Para fines de este trabajo, se utilizaron varios aspectos de SCRUM para realizar las actividades de administración de proyectos del DC, tales como la adopción de los roles de PO y SM, el control basado en reuniones diarias, inicialmente el *Daily SCRUM*, así como una propuesta de variante de las HU que es utilizada para delimitar el alcance funcional del sistema así como para proveer de trazabilidad a cada uno de los elementos que se construyan.

## 2.2. Metodologías Tradicionales

Las metodologías tradicionales se centran en el proceso, guían sobre el qué hacer en cada una de las etapas de desarrollo, concentrando gran parte del desarrollo en la generación de documentación exhaustiva. Estas metodologías asignan un alto costo a la implementación de cualquier cambio, principalmente causado por el ciclo de vida en el que se desenvuelven. El ejemplo más conocido de este tipo de metodologías es el Proceso Unificado (PU) [8], el cual se define como un proceso basado en componentes y centrado en la arquitectura, que utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) para detallar todos los esquemas del software a desarrollar. Además del PU, existen modelos de referencia de procesos como CMMI [9] y estándares como la ISO/IEC 12207 [10] que definen al conjunto de procesos relacionados con el desarrollo de software. Sin embargo desde sus orígenes este tipo de modelos y estándares han sido recibidos de mejor manera por organizaciones grandes y no así por las pequeñas. Debido a esto, en los últimos años se han realizado esfuerzos para acercar la definición de estándares a organizaciones pequeñas con el fin de apoyar sus procesos, el más significativo de estos esfuerzos ha sido la norma ISO/IEC 29110 [11]. La ISO/IEC 29110 es un estándar internacional desarrollado específicamente para entidades muy pequeñas (VSE-Very Small Entities) encargadas de construir software. Una VSE se define como una entidad que tiene menos de 25 personas. Esta norma se divide en dos procesos, definidos de la siguiente manera [11]:

- **Implementación del Software:** Describe conceptos de procesos, ciclo de vida y estandarización para la construcción del software.
- **Administración del proyecto:** Describe el desarrollo de software de una sola aplicación por un solo equipo de proyecto sin riesgos o factores situacionales especiales.

Para fines de este trabajo, la norma ISO/IEC 29110 sirvió como base para la definición de qué actividades y productos de trabajo que realizaría el DC a lo largo del desarrollo de software para la DEP-FM.

## 3. Metodología Híbrida DC-DEP-FM

Si bien las metodologías tradicionales indican qué actividades realizar y qué productos de trabajo generar, no todos los proyectos a los que una organización hace frente tienen las mismas restricciones de rigurosidad en cuanto al control de actividades o utilidad de la documentación.

Por otra parte, una metodología ágil podría relajar demasiado las cosas ocasionando que el control y orden se pierda. De acuerdo con esto y bajo el contexto presentado en la DEP-FM se buscó una solución para lograr abarcar las necesidades locales de documentación, mantenimiento y desarrollo de software. Lo anterior llevado a cabo por un equipo reducido y tomando ventaja de que la mayoría de los usuarios y clientes de los sistemas en cuestión se encuentran físicamente en el mismo lugar de trabajo, resultando en la creación de una metodología híbrida con las siguientes características:

- El desarrollo de software estará guiado por la norma ISO/IEC 29110.
- Las actividades de la norma se podrán llevar a cabo de manera: Ágil, Tradicional o Híbrida.
- Las actividades de Implementación del Software que involucren documentación se llevarán a cabo siguiendo el PU.
- Las actividades de Administración del Proyecto que involucren reuniones o acuerdos se llevarán a cabo de manera ágil durante el Daily SCRUM.
- Se involucrará como parte del equipo a los clientes y usuarios, tomando el rol de PO. Serán ellos quienes comiencen con la creación de las historias de usuario adaptadas.
- Los productos de trabajo se concentrarán en las historias de usuario adaptadas, cuyo formato permitirá incluir lo requerido por los productos de trabajo de la norma ISO/IEC 29110 pero su creación contará con la participación activa de los usuarios.

De acuerdo a los puntos expuestos, esta propuesta se trata de una metodología híbrida, ya que la guía será la norma ISO/IEC 29110, que es tradicional, pero las actividades de administración del proyecto así como la especificación de requerimientos, pruebas y liberación se llevarán a cabo mediante SCRUM e HU adaptadas, esto último sustentándose en lo que una metodología ágil señala.

### 3.1. Historias de Usuario Adaptadas

Inspiradas en las HU y reutilizando la idea original de Cohn de representar un requisito de software escrito en una o dos frases utilizando el lenguaje común del usuario [7], se crearon las HU adaptadas. Las HU adaptadas incluyen apartados que permiten atender las necesidades de documentación del equipo y aquellas solicitadas por la norma ISO/IEC 29110. La estructura resultante de las HU adaptadas es la siguiente, ver Figura 1:

#### ■ Fecha, Identificador y Versión.

■ **Requerimientos:** Simulará la parte frontal de una HU convencional, de esta manera, es aquí donde el cliente detallará con sus propias palabras la funcionalidad solicitada.

■ **Notas:** En este espacio el equipo de trabajo realizará anotaciones para aclarar el requerimiento o bien registrar observaciones propias.

■ **Detalle de diseño:** En esta zona se podrán mostrar bocetos de lo que será el sistema, el equipo de trabajo explicará mediante narrativa o prototipos el cómo se pretende realizar la implementación.

■ **Pruebas:** Indicará las fechas en las que se obtienen los vistos buenos del equipo de trabajo y del cliente para cada módulo.

■ **Notas de rechazo:** En caso de que el cliente rechace el módulo, se detallará el motivo y, en caso de ser necesario, se incluirá el error o defecto presentado.

■ **Detalle de la prueba:** Esta área de la HU simulará la parte posterior de la tarjeta de HU, aquí el cliente detallará en su lenguaje la manera en la que llevará a cabo la prueba del módulo que implementa la HU.

■ **Registro de rastreo:** Servirá para que el equipo de trabajo detalle con qué otras HU se encuentra relacionada.

Apartados como *Requerimientos* y *Detalle de la Prueba* son preservados de las HU originales, sin embargo secciones como *Detalle del Diseño* y *Registro de Rastreo* fueron agregadas para dar orden al desarrollo y facilitar futuros mantenimientos del sistema a construir. Finalmente los apartados de *Notas* y *Notas de Rechazo* permitieron clarificar y mejorar el entendimiento de las necesidades del cliente/usuario con el equipo de desarrollo, ocasionando que se obtuviera un mejor producto de software.

### 3.2. Reuniones Diarias

ISO/IEC 29110 sugiere, al inicio de cada una de sus fases, asignar las tareas al equipo de trabajo de acuerdo al rol que desempeñan, dado que en el DC se tiene un equipo reducido y que todos se encuentran en el mismo lugar de trabajo, se decidió implementar el *Daily SCRUM*.



Fecha: 25 de julio del 2012  
 Versión: 2.7f

Como Administrador de Cursos de la División, necesito poder actualizar el Jefe de Enseñanza de una Sede o de una Institución.

**Notas:**

- Se debe verificar que la actualización del Jefe propuesto no exceda el número de asignaciones como Jefe de Enseñanza permitidas (máximo una Institucional y una Nacional).

**Detalle de diseño:**

- Se mostrará un menú para seleccionar el tipo de actualización, las posibles combinaciones son:
  - Actualización de Académico asignado como Jefe de Enseñanza en Sede (Institucional).
  - Actualización de Académico asignado como Jefe de Enseñanza en Institución (Nacional).
- La acción de actualizar los datos personales de Jefe de Enseñanza se realizará desde el menú Actualiza Académico.
- Se mostrarán las listas de selección de acuerdo al tipo de actualización:
  - Actualización de Jefe de Enseñanza en Sede: Se deberá mostrar un primer menú con las Instituciones, posteriormente una lista con las Sedes pertenecientes a la Institución seleccionada. Tras la selección de la Sede, se deberá mostrar el nombre del Académico que se encuentra actualmente como Jefe de Enseñanza y una lista con los posibles Académicos para sustituirlo.
  - Actualización de Jefe de Enseñanza en Institución: Se deberá mostrar un primer menú con las Instituciones, en el momento en que una Institución es seleccionada se deberán mostrar los datos del Académico que se encuentra actualmente como Jefe de Enseñanza. Finalmente se mostrará una lista con los posibles Académicos para sustituirlo.

1

(a) Parte 1



Fecha: 25 de julio del 2012  
 Versión: 2.7f

**Pruebas:**

Fecha de validación: 30 / 10 / 12 Vo.Bo. Equipo de Trabajo ✓  
 Fecha de revisión: 5 / 11 / 12 Vo.Bo.Dr. Agiles Cruz Avelar ✓  
 Aprobado   
 Rechazado

**Notas de Rechazo (en caso de ser necesario):**

**Detalle de Prueba:**

- Probaré el módulo actualizando un Jefe de Enseñanza de la siguiente manera:
- Actualizaré un Jefe de Enseñanza de una Sede cualquiera ingresando un Académico nuevo.
  - Actualizaré un Jefe de Enseñanza de una Sede cualquiera seleccionado un Académico registrado.
  - Intentaré actualizar un Jefe de Enseñanza de una Sede cualquiera intentando asignar un Académico ya asignado como Jefe de Enseñanza (no se debe poder).

**Registro de Rastreo:**

menu\_movimiento\_jefes.jsp -> actualizacion\_jefe.jsp

2

(b) Parte 2

Figura 1. Historia de Usuario Adaptada

Los *Daily SCRUM* son aprovechados para asignar tareas y mantener informado al resto del equipo sobre el progreso del proyecto, así como para expresar irregularidades u obstáculos en el desarrollo del mismo. En particular, en el DC, dichas reuniones son llevadas a cabo de manera diaria a las 10:00 en la Sala de Juntas de la Subdivisión de Especialidades Médicas de la DEP-FM, participando los miembros del equipo de desarrollo y en caso de ser necesaria la toma de acuerdos o resolución de dudas, se involucra al cliente o a aquellos usuarios significativos.

#### 4. Resultados

Como resultado de la aplicación de la metodología híbrida planteada el DC ha desarrollado dos sistemas nuevos: Profesores.v.2.0 que permite la administración de cursos, sedes y profesores de cursos de Especialidad y Alta Especialidad Médica; y PNPC.v.1.0 que permite la consulta de los programas que solicitan evaluación en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.

Ambos sistemas han tenido un impacto positivo en sus usuarios y administradores, ya que se ha logrado que cumplan con las siguientes características:

- Mantenimiento y Operación:** Los sistemas cuentan con documentación adecuada, lo que ha permitido responder de manera eficiente al mantenimiento y operación de los mismos.
- Usabilidad:** Los usuarios, nuevos y existentes, han recibido de mejor manera a los sistemas, ya que al incluirlos en el proceso de desarrollo, ha permitido al DC construir soluciones más cercanas a los usuarios.
- Funcionalidad:** se ha logrado desarrollar sistemas con las funcionalidades que realmente apoyan al usuario en su labor diaria, debido a que éstas fueron concebidas en conjunto entre el equipo y el cliente.

En conjunto, los puntos anteriores permitieron responder satisfactoriamente a las tres preguntas que guiaron esta propuesta.

Por otro lado, el DC ha identificado las siguientes mejoras en el equipo de trabajo:

- Los alumnos prestadores de servicio social en la DEP-FM se familiarizan con mayor rapidez a los procesos del DC. Cabe resaltar que su inclusión en los *Daily SCRUM* los mantiene informados y les provoca un sentido de pertenencia al DC.

- Las HU adaptadas han resultado ser una herramienta poderosa para evitar inconsistencias entre la lógica del negocio y su implementación, incluso han permitido utilizar tiempos de desarrollo para la inclusión de nuevas funcionalidades en lugar de la corrección de las existentes por no “entender” los requerimientos del cliente.

Finalmente como oportunidades de mejora para la metodología, se puede mencionar que sería deseable contar con un sistema para la captura y administración de las HU adaptadas, ya que conforme el número de éstas se incrementa se dificulta su manejo. Por otra parte, para fines estadísticos solicitados por la institución, sería conveniente tener un registro y seguimiento de métricas de esfuerzo empleado.

## 5. Conclusiones

Tras el desarrollo de este proyecto se puede reafirmar la importancia que hoy en día tiene la Ingeniería de Software para el correcto desarrollo de software y sistemas. Este trabajo demostró que la aplicación de una metodología híbrida permitió transformar problemáticas específicas del DC como lo eran el personal reducido, sistemas sin documentación y la frecuente presencia del cliente solicitando cambios, en ventajas: equipo pequeño bien comunicado, ágil asignación de actividades, documentación adecuada y estandarizada, integración del cliente al equipo de trabajo y productos funcionales acorde a las necesidades de los usuarios.

Siendo lo anterior consecuencia de haber aprovechado las bondades de ambos tipos de metodologías, tradicionales y ágiles, culminando los proyectos con productos de mejor calidad, reflejándose en aprendizaje y satisfacción para las partes involucradas.

Como trabajo futuro, el DC continuará aplicando la metodología propuesta en sus proyectos de desarrollo, lo que permitirá enfrentar sus debilidades y fortalezas, se reforzará la parte correspondiente a métricas y se capacitará a los prestadores de servicio social dotándolos de técnicas para el uso adecuado de las historias de usuario y el manejo de clientes.

## Referencias

- [1] Y. Wang, *Software Engineering Foundations: A Software Science Perspective*. Auerbach Publications, 2008
- [2] Agile Alliance (2011) “The Manifesto for Agile Software Development”. <http://www.agilealliance.org/the-alliance/the-agile-manifesto/>
- [3] K. Schwaber, J. Sutherland. (2011) “The Scrum Guide - The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game”. <http://www.scrum.org/>

- [4] M. Stephens, D. Rosenberg, *Extreme Programming Refactored: The Case against XP*. Apress, 2003
- [5] D. Anderson, *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business*. Blue Hole Press, 2010
- [6] M. Poppendieck, M. Cusumano. (Septiembre-Octubre, 2012) “Lean Software Development: A Tutorial”. *IEEE Software*, No. 5, Vol. 29, pp. 26-32. Septiembre-Octubre 2012.
- [7] M. Cohn, *Agile Estimating and Planning*. Prentice Hall, 2006.
- [8] J. Rumbaugh, I. Jacobson, G. Booch, *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. Pearson, 2000
- [9] C. Beth, M. Konrad, S. Shrum, *CMMI for Development: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Pearson, 2012
- [10] ISO/IEC 12207:2008 Systems and software engineering - Software life cycle processes. International Organization for Standardization, 2008.
- [11] ISO/IEC 29110-5-1-2:2012 Software engineering - Lifecycle profiles for Very Small Entities (VSEs) - Management and Engineering Guide: Generic profile group: Basic Profile. International Organization for Standardization, 2012.

# UAM-Online: Una Plataforma Computacional de Apoyo al Proceso de Enseñanza-Aprendizaje

Ollintzin Mary Carmen Rosas Juarez, Miguel Ángel Romero Martínez, Armando Castillo Hernández, Pedro Pablo González Pérez

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa.  
Av. Vasco de Quiroga 4871, Col. Santa Fe Cuajimalpa, México, D.F. 05300.  
*ollintzinrj@gmail.com, saske.madara@gmail.com, armandowg@gmail.com, pgonzalez@correo.cua.uam.mx*

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

En este trabajo se presenta una plataforma computacional de apoyo al proceso de enseñanza aprendizaje a distancia, a nivel prototipo. La plataforma, denominada UAM-Online, proporciona, entre sus principales prestaciones, servicios de video conferencia, chat, foros de discusión, pizarra virtual y uso compartido de archivos entre los usuarios registrados. Como parte del desarrollo de la plataforma, fue necesario efectuar una reingeniería de componentes de las tecnologías de OpenMeetings y utilizar un modelo basado en componentes reutilizables de Moodle para adaptarlos a los requerimientos del proyecto. El trabajo aquí reportado expone las principales decisiones tomadas durante la conceptualización, análisis, diseño, construcción y prototipado de la plataforma UAM-Online, finalizando con una descripción ampliamente visual de los resultados obtenidos.

*Palabras clave:* Ingeniería Progresiva de Software, Plataforma para Educación a Distancia, Reingeniería de Software, Tecnología Web.

---

## 1. Introducción

Las aplicaciones y plataformas web han sido muy demandadas en los últimos años, por su fácil acceso, dinamismo e interactividad; ya que solo se necesita de un navegador Web para que el usuario pueda utilizarlas. De esta forma, por una parte no se requiere de la instalación de un software en la computadora y por otra parte se dispone del servidor, el cual se encarga de las prestaciones o servicios para dicha aplicación [1]. Por tal motivo, varias instituciones educa-

tivas han decidido desarrollar sus propias plataformas web de educación a distancia, para lograr incrementar su matrícula y ofrecer una nueva forma de transmitir conocimientos, de modo que todos aquellos interesados que no puedan asistir a una clase presencial, puedan tener la oportunidad de tomarla desde cualquier lugar que cuente con una computadora y una conexión a Internet. Estas plataformas educativas a distancia [2] son desarrolladas bajo tecnologías bastante completas y adaptables para la implementación de los patrones

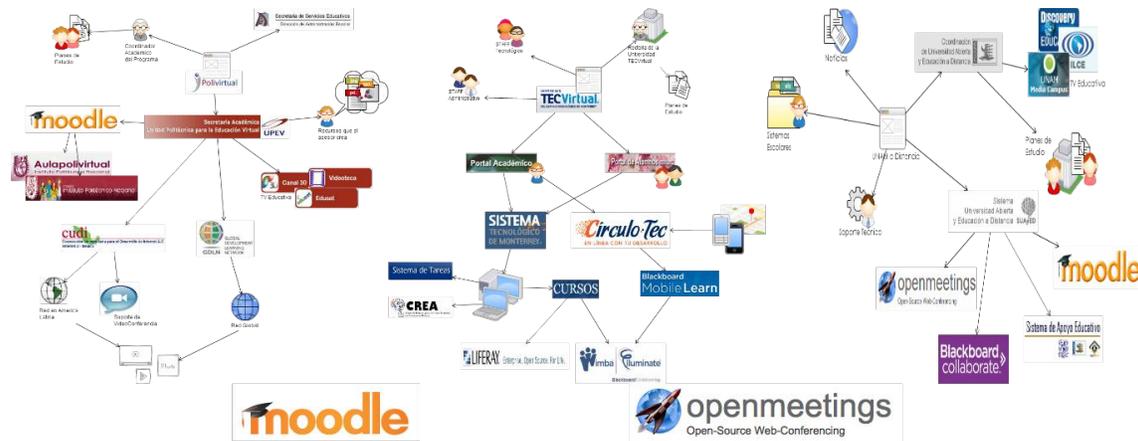


Figura 1. Representación a nivel organizacional y principales herramientas de Instituciones que brindan educación a distancia de nivel superior.

arquitectónicos y de diseño [3] que se utilizan en la ingeniería del software, ya que dichos patrones son fundamentales para que el software desarrollado sea reusable, extensible y robusto, garantizando así una mayor flexibilidad en el mantenimiento del mismo.

## 2. Antecedentes de infraestructuras web y requerimientos tecnológicos

### 2.1. Plataformas de educación a distancia

La educación, a través de sus diferentes niveles de enseñanza, no podía quedarse atrás en el uso del Internet y de la amplia gama de aplicaciones desarrolladas sobre esta tecnología. Por tal motivo, muchas instituciones públicas y privadas han decidido invertir gran parte de sus recursos en el desarrollo de aplicaciones web (ver figura 1), para transmitir no solo información, sino también conocimiento, de una forma práctica e innovadora. Tomando en cuenta el estudio del estado del arte que se realizó de las herramientas de conectividad, comunicación y compartimiento de archivos, en el desarrollo de la plataforma UAM-Online se decidió utilizar las tecnologías de OpenMeetings y Moodle, por ser ambas open source y ser relativamente sencillas en los aspectos de en interfaz de usuario y desarrollo.

### 2.2. Tecnologías para el desarrollo de aplicaciones Web

Las tecnologías web [4] son aquellas herramientas o plataformas que los usuarios pueden utilizar accediendo a un servidor con ayuda de Internet o una intranet [1], a través de un navegador web. Estas aplicaciones son codificadas en un lenguaje que sea soportado por el navegador web. Estos tipos de desarrollo han demostrado,

entre sus principales ventajas, que la parte del cliente es muy ligera, multiplataforma y además, que las actualizaciones y mantenimientos a una aplicación web son mucho más sencillos que aquellos de las aplicaciones monolíticas. Las aplicaciones Web son un tipo especial de aplicaciones Cliente-Servidor. Para el desarrollo de la aplicación UAM-Online, se ha decidido utilizar PHP, ya que esta tecnología no obliga al programador a utilizar una metodología específica y permite utilizar el paradigma orientado a objetos, fomentando el uso de patrones de diseño; y por último cubre los requerimientos no funcionales de la plataforma, como estabilidad, portabilidad y seguridad.

### 2.3. Patrones de arquitectura y de diseño para el desarrollo de aplicaciones Web

Una arquitectura de software [5] especifica la organización del software, considerando sus componentes por los cuales está integrado el software, las interfaces y comportamientos que caracterizan los componentes, así como la forma en que se comunican, interactúan y colaboran. Las arquitecturas de software integran todos los aspectos lógicos, de procesos, de componentes, físicos, etc. Para elegir que arquitectura implementar, se toman en cuenta aspectos tales como el desacoplamiento, dependencia de otros sistemas y la interactividad. Así, para el desarrollo de la plataforma UAM-Online se ha decidido implementar la arquitectura Model-View-Controller (MVC) extendida a 4 capas, al resultar necesario incorporar una capa que soporte los servicios.

### 3. Principales aspectos, artefactos e hitos del proceso de desarrollo de la plataforma UAM-Online

El desarrollo de la plataforma UAM-Online ha sido guiado por la metodología de desarrollo de software Rational Unified Process (RUP) [5], que propone IBM Rational. RUP es un proceso de desarrollo híbrido que permite una visión amplia y profunda durante el desarrollo de un sistema de software. Siendo una metodología de desarrollo de software a gran escala, RUP proporciona una clara guía sobre cuáles fases, iteraciones, actividades, artefactos e hitos seguir en el desarrollo de cada módulo, componente o columna de funcionalidad de un sistema. La plataforma UAM-Online pretende proporcionar un servicio de educación a distancia, que abarque los siguientes aspectos: comunicación entre los usuarios por medio de video conferencias, chat, foros de discusión y pizarras virtuales; además de proporcionar otros servicios como autenticación de tipos de usuarios y privilegios, uso compartido de archivos, consulta de información disponible en la plataforma y protección de los datos de los usuarios registrados.

#### 3.1. Análisis de requerimientos

La captura y el análisis de los requerimientos del sistema [6] es una de las fases más importantes para que un proyecto tenga éxito, ya que la preparación de una especificación adecuada de requerimientos reduce considerablemente el costo y el riesgo general asociado con el desarrollo. En este apartado se muestran algunos elementos claves de la especificación de las actividades realizadas para la recolección y el análisis de requerimientos de la plataforma UAM-Online. Una vez identificados los usuarios, se pueden plantear casos de uso y escenarios para describir los requerimientos funcionales de la aplicación (ver figura 2).

Los requerimientos no funcionales, son también importantes durante el desarrollo de un sistema de software, ya que definen en qué tipo de hardware se podrá utilizar y desplegar la plataforma, qué tecnologías y arquitectura de software se van a usar para su desarrollo, además de considerar las exigencias de performance de la plataforma. En la tabla 1 se relacionan algunos de los requerimientos no funcionales considerados durante el desarrollo de la plataforma UAM-Online.

#### 3.2. Diseño arquitectónico y diseño de componentes

Una arquitectura de software [7] especifica la organización del software, considerando sus componentes

por los cuales está integrado el software, las interfaces y comportamientos que caracterizan los componentes, así como la forma en que se comunican, interactúan y colaboran. Para el desarrollo de la aplicación UAM-Online se ha decidido implementar la arquitectura MVC extendida a cuatro capas (ver figura 3); con el objetivo de garantizar un máximo desacoplamiento entre los componentes y una mejor organización de clases. La cuarta capa incorporada funge como contenedor para los componentes de conexión a los servicios de las tecnologías MySQL, OpenMeetings y Moodle.

El diseño a nivel de componentes inicia después de haber terminado la primera iteración del diseño arquitectónico, siendo su objetivo principal traducir el diseño del software en algo operacional, permitiendo a los desarrolladores revisar si los detalles de los diseños son consistentes y correctos con las representaciones iniciales. Durante esta fase fueron diseñados a nivel detallado la columna de funcionalidad del Administrador Web y del Administrador Técnico (ver figura 3), el componente base de datos, así como la interacción con los subsistemas OpenMeetings y Moodle.

#### 4. Proceso de Reingeniería de OpenMeetings

El proceso de reingeniería [8] que se realizó a la infraestructura OpenMeetings, para adaptarla a los requerimientos de la plataforma UAM-Online, fue una actividad fundamental dentro del proceso de desarrollo, ya que permitirá aprovechar prestaciones claves de esta plataforma, requeridas en cualquier ambiente de educación virtual, tales como las de video conferencia, chat, voz, pizarra virtual, uso compartido de archivos y gestión de usuarios. El trabajo de reingeniería que se realizó con OpenMeetings abarcó principalmente las siguientes actividades:

1. Identificación de las dependencias y librerías requeridas para el correcto funcionamiento de esta tecnología.
2. Identificación y análisis de los principales paquetes donde se ubican las clases del sistema.
3. Desglose de los diagramas de paquetes; lo cual consistió en identificar las clases más importantes, requeridas por UAM-Online, al mayor nivel de jerarquía.
4. Identificación de los atributos y métodos requeridos de las clases obtenidas.
5. Desarrollo de los diagramas de secuencias que involucran las clases identificadas en el punto 3, para comprender la secuencia apropiada en el paso de mensajes.

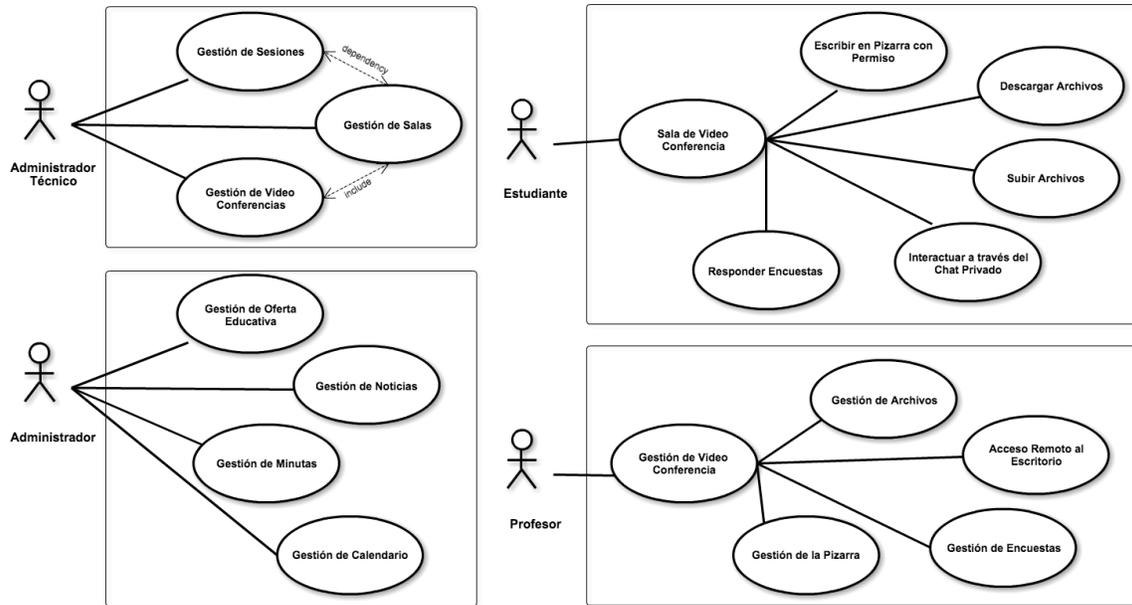


Figura 2. Interacción con el usuario en la Plataforma UAMOnline.

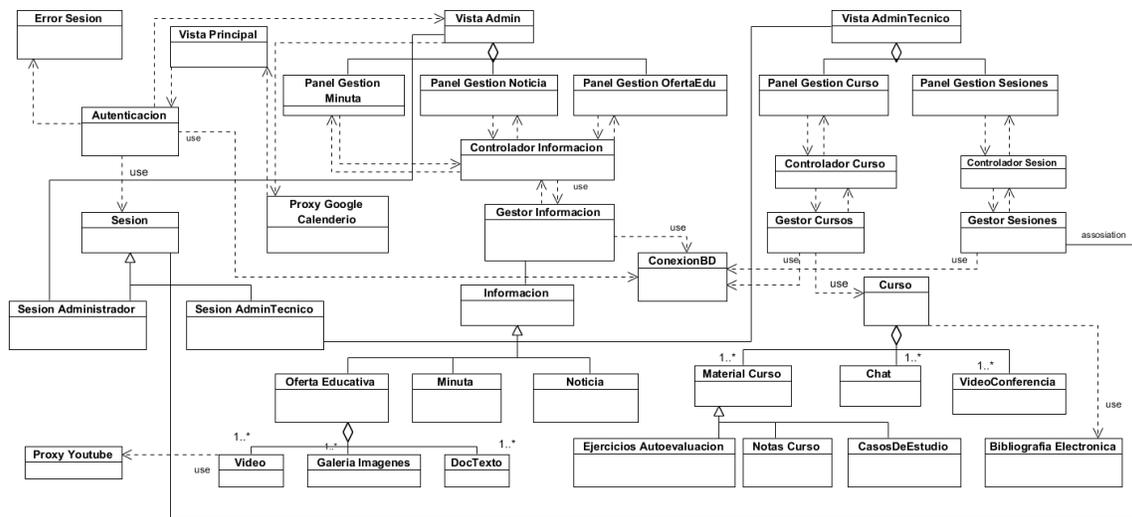


Figura 3. Diseño arquitectónico MVC, extendido a 4 capas, mostrando detalles de la columna de funcionalidad del Administrador Web y del Administrador Técnico.

Tabla 1. Requerimientos no funcionales de la Plataforma UAM Online.

Requerimiento No Funcional	Prioridad	Prioridad
Estabilidad	Media	Debe soportar múltiples sesiones.
Portabilidad	Alta	Debe funcionar en cualquier navegador, servidor web.
Seguridad	Alta	Se deben proteger los datos de los usuarios.
Arquitectura Lógica	Alta	Se tiene previsto utilizar MVC extendido a 4 capas.

## 5. Resultados

Como resultado del proceso de ingeniería progresiva, a través de la metodología RUP, y del proceso de reingeniería de la infraestructura OpenMeetings, ha sido posible obtener un primer prototipo completamente

funcional de la plataforma UAM-Online. La plataforma ofrece al usuario una extensa gama de prestaciones requeridas en la educación a distancia y enseñanza virtual. Parte de estas prestaciones son definidas por la propia plataforma, mientras que otras son extendidas de la infraestructura OpenMeetings. Aún cuando en estos

momentos la aplicación reside sobre un servidor local, ésta ha sido ampliamente probada desde puntos remotos, permitiendo la interacción y comunicación entre un grupo de usuarios durante la simulación de una lección de Ingeniería de Software y por lo tanto, su verificación y pruebas. Las figuras 4, 5 y 6 ilustran la ejecución de algunas actividades por parte de los diferentes usuarios en la plataforma UAM-Online. En la figura 4 se puede apreciar la interfaz principal de la aplicación, en la figura 5 se ilustran algunas actividades ejecutadas por el administrador Web, mientras que la figura 6 refleja parte de la interacción profesor-alumno en una sesión de trabajo.

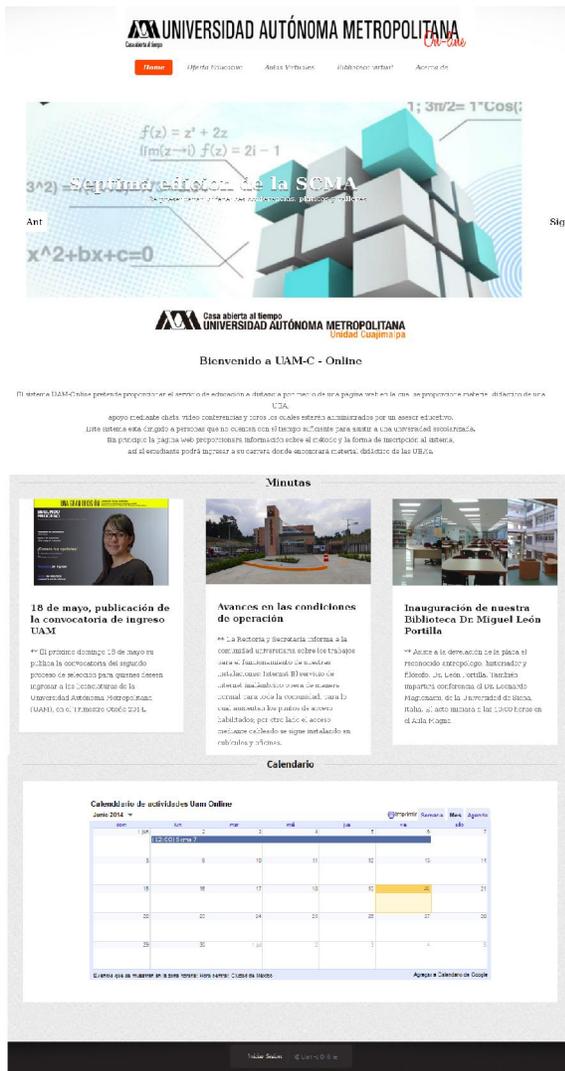


Figura 4. Interfaz Principal de la Plataforma Web UAM-Online.



Figura 5. Gestión de la Oferta Educativa y gestión de Noticias en la Plataforma UAM-Online.

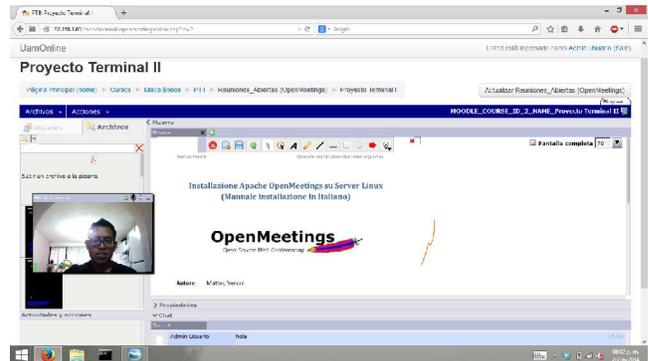


Figura 6. El papel de las tecnologías OpenMeetings y Moodle dentro de la plataforma UAMOnline, funcionando con gestión de usuarios, cursos, chat y videoconferencia con pizarra virtual.

## 6. Conclusiones

Como resultado del proceso de desarrollo se obtuvo un prototipo funcional de una plataforma de apoyo a la educación a distancia y enseñanza virtual, el cual integra en una única aplicación tecnologías PHP y tecnologías web, manejo de bases de datos relacionales, el uso de ZendFramework (Framework de YouTube), así como la disponibilidad de OpenMeetings dentro de Moodle. Cabe señalar que en estos momentos la plataforma se ejecuta en un servidor local. En un futuro muy cercano se espera que pueda ser accesible desde un servidor público y así obtener el provecho para el cual fue creada. Como parte del trabajo futuro se contempla concluir la parte de la reingeniería del lado de Moodle, además de garantizar la interacción con otros sistemas para la educación a distancia, esto con el fin de seguir ampliando las prestaciones que ya contempla la plataforma web UAM-Online.

## Referencias

- [1] S. Luján Mora. (Noviembre-30, 2014). *Programación de Aplicaciones Web: Historial, Principios Básicos y Clientes Web*. Editorial Club Universitario, España. (2002) <http://books.google.com.mx/books?id=r9CqDYh2-1oC&lpg=PP1&hl=es&pg=PR2#v=onepage&q&f=false>
- [2] B. Gros Salvat. (Noviembre -30, 2014). *Evolución y Retos de la Educación Virtual, Construyendo el E-Learning del Siglo XXI*. Editorial UOC, España. 1a. Edición. <http://books.google.com.mx/books?id=14tP8yybib0C&lpg=PP1&hl=es&pg=PA4#v=onepage&q&f=false>
- [3] E. Gamma. *Patrones de Diseño: Elementos de Software Orientado a Objetos Reutilizable*. Editorial Pearson Educación. Madrid. 2003. 384 p.
- [4] F. Minera. *Desarrollador Web Profesional*. 1era. Edición. Banfield, Lomas de Zamora: Gradi. 2008. 391 p.
- [5] I. Sommerville. *Ingeniería de Software*. Editorial Pearson AddisonWesley, Edición 7. Madrid, España. 712 p.
- [6] M. C. Gómez Fuentes. *Notas del Curso: Análisis de Requerimientos*. 1era Edición. México.
- [7] F. Buschman, R. Mueunier, H. Rohnert, P. Sommerlad, M. Stal. (Noviembre-30. 2014) *Pattern - Oriented Software Architecture, A System of Patterns, Vol. 1*. Editorial Wiley, Inglaterra. [https://books.google.com.mx/books?id=j\\_ahu\\_BS3hAC&lpg=PA1&dq=pattern%20architecture&hl=es&pg=PT8#v=onepage&q=pattern%20architecture&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=j_ahu_BS3hAC&lpg=PA1&dq=pattern%20architecture&hl=es&pg=PT8#v=onepage&q=pattern%20architecture&f=false)
- [8] J. C. Álvarez García, M. Mateos Sánchez, M. N. Moreno García. (Noviembre-30, 2014). *Metodología de Ingeniería del Software para la Remodelación de Aplicaciones Científicas Heredadas*. Departamento de Informática y Automática - Universidad de Salamanca. Enero, 2005. 16 paginas. <http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/21762/1/DPT0IA-IT-2004-003.pdf>

# Key Implementation Elements of Haptic Rendering

Esther Ortega Mejía, Marva Angélica Mora Lumbreras

Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología.  
Calzada Apizaquito S/N, Apizaco, Tlaxcala. C.P 90300.  
{[esther.ortega.m,marva.mora](mailto:esther.ortega.m,marva.mora@gmail.com)}@gmail.com

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Abstract

This paper presents key implementation elements for a methodological proposal, which are focused on the task of rendering and manipulation of virtual objects via kinesthetic. Our project involves two key areas: Virtual Reality and Haptic Rendering. Virtual Reality is related to the creation of virtual environments, considering physical and virtual aspects, levels of immersion and interaction with the user. Haptic rendering is used to provide kinesthetic stimuli in order to improve the man-machine interaction. We identify three main processes as a part of the methodology: i) selection of algorithms and methods for haptic rendering according to the project developed, ii) selection of languages and specialized software tools for virtual applications and iii) selection of haptic devices, all these considerations are key for developing projects using haptic rendering.

*Keywords:* Haptic device, Haptic rendering, Navigation, Virtual reality.

---

## 1. Introduction

Currently, rendering of haptic cues is a challenge, mainly due to the bidirectional communication process between the user and the virtual project that must be provided. Haptic rendering allows the user to perceive through the skin (temperature and texture) and rendering through muscles, tendon and joints (position, velocity, acceleration, force and impedance). Due to such kind of complexity, these projects are limited to some cues.

Haptic is still an incipient research area, then there is no enough information in literature related to the development of haptic rendering projects, so we consider imminent the creation of this proposal.

This paper presents a methodological proposal for developing robustness in projects using haptic rendering. The proposal has emphasis on different algorithms related to the haptic rendering. It was necessary to consider the state of the art of haptic rendering, to select the most relevant works, which have the necessary maturity to guide in the ad-hoc project development.

The rest of the paper is organized into the following sections: section 2 provides an over-view of haptic and virtual reality, section 3 describes the proposed methodology which presents a classification of haptic rendering algorithms, indicate the software used in the topic, also presents the main haptic devices, then in section 4 an analysis about possible selection of algorithms is presented, finally the last section concludes this work.

## 2. Virtual Reality and Haptics

Virtual reality, in terms of functionality, is a simulation in which computer graphics are used to create a realistic-looking world [1]. A virtual environment (VE), specifically a computer-based environment intends for its users to inhabit it and interact with it via avatars. These avatars are usually depicted as textual, two-dimensional or three-dimensional graphical representations, although other forms are also possible. Some virtual environments allow multiple users to participate simultaneously. The perception of these environments can be done via visible, audible, or tactile means.

Virtual reality considers four elements: virtual world, immersion, sensory feedback and interactivity: A virtual world is an artificial computer-generated environment in which users are able to interact with each other by means of characters and manipulating objects. Immersion is usually defined as the full sensory replacement by artificial means instead of being generated from the real world. The interaction between the system and the user should be natural. A good interaction helps to get a better immersion sense. Unlike traditional media such as video games, animation and other applications in virtual environment users can interact with systems, influence events in the world and receive a dynamic feedback.

Haptics is the science of touch relates to the sense of touch or feel using a haptic device (stimulating the user touch or kinesthetically). Haptic Rendering algorithms studied generating kinesthetic stimuli to users of virtual environments based on models and definitions physical-mathematical.

To increase immersion in virtual environments different areas have been involved, such as haptic rendering, which focuses on making someone sense of touch or feeling the force using a haptic device [2]. The key features of a haptic device are: force range, degrees of freedom, workspace, etc. The devices allow users manipulate a virtual environment and their 3D objects.

## 3. Proposed Methodology

In this section a methodology for developing projects using virtual reality and haptic rendering is proposed, that we call: HAREVIR, (see Figure 1. Stages of methodological proposal). Our methodology includes three important key elements: the selection of haptic rendering algorithms and methods, selection of specialized languages and selection of haptic devices. Next sections detail those tasks.

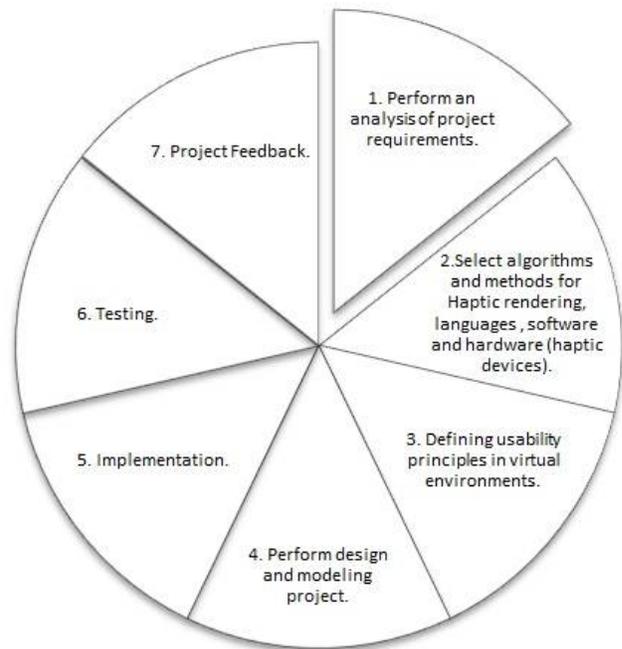


Figure 1. Stages of methodological proposal.

### 3.1. Methods for Haptic Rendering

A haptic device provides interaction between the user and a given virtual environment, captures user positions, and others qualities [3], the algorithms related with haptic rendering generate kinesthetic stimuli in the users. They have two main tasks: compute the position and orientation of the virtual object manipulated by the user (avatar) and calculate the forces and torques that should be returned.

Most haptic rendering methods divide the process of calculating the collision force and torque in three stages: collision detection, collision response and control algorithms.

In the first stage, the position of the haptic device and virtual environment information is considered to check any collisions.

In the second stage, if there were a collision, information would be taken, the ideal position of avatar and the ideal strength of interaction between the avatar and the environment would be calculated.

In the third stage, a force returns to the user, which approximates the ideal force according to the capacity of the haptic device (see Figure 2. Forces and torques calculation.).

After having a requirement analysis of the project, it is possible to select a specific haptic rendering algorithm. It is important to considerate that there are simple and complex virtual environments. The algorithms have different approaches; the Figure 3. Classification of Haptic

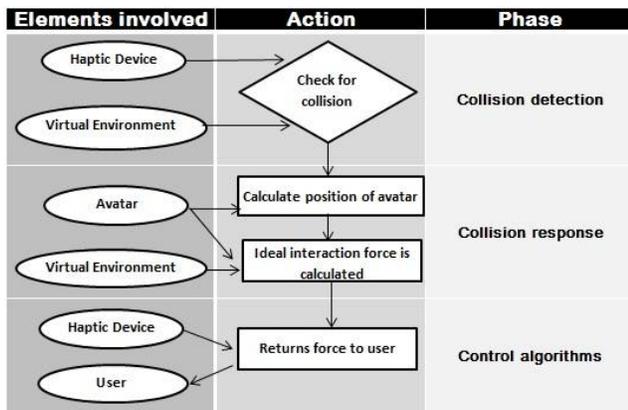


Figure 2. Forces and torques calculation.

Rendering Algorithms, shows several haptic rendering algorithms considered by HAREVIR.

*Penalty methods*

Penalty methods calculate the collision force based on the amount of interpenetration of the virtual objects in a collision, either by using a model of elastic contact, viscoelastic or a different one. The elastic model calculates the forces and torques collision, in the simplest case. This method calculates the magnitude of the penetration  $p$ , the normal collision direction  $n$  and the contact point  $cp$ , where  $cp$  is the center of inertia of the avatar and  $K$  represents the virtual stiffness contact (see equation 1).

$$F = Kpn, M = (cp - cp)F \tag{1}$$

Penalty methods are divided into two main types: polygonal methods and voxel-based methods.

*Polygonal methods*

These methods use polygonal representations, usually triangle mesh to define the surface of the virtual objects, and the collision response calculated from the information associated with the detected collision triangles. Once detected the triangles, the position information of its vertices and the normal vector of each triangle it is calculated the normal direction, penetration and a point of contact to obtain a force and torque representative of the collision.

The most basic representation for a volume is the classic voxel array in which each discrete spatial location has a one-bit label indicating the presence or absence of material, in volume haptic rendering technique. Sometimes it uses additional physical properties like stiffness, color and density during the voxel representation [4].

*Voxel-based methods*

Virtual environment is divided with mesh container

boxes, in several researches, called voxels, to simplify the calculation of collisions and penetrations between two virtual objects. Polygonal representations are replaced by two different structures, named Voxmap-PointShell.

The first, Voxmap, is a partitioning spatial structure voxels based replacing the geometrical model of the virtual scene.

The second, PointShell, is a cloud of points defining the surface of the avatar associated with each data point. Both facilitate the calculation of the normal and the resulting penetration in avatar collisions with objects of the scene.

*Constraints-based methods*

Constraint-based methods do not use interpenetration forces in rigid objects to calculate the collision response. These methods use the virtual coupling and restrict decoupled virtual object on the surface of the obstacles, guiding their dynamics by restrictions. An example is the God-object method, this algorithm locates a virtual object minimizing the distance between it and the position of the haptic device at every moment under restrictions [4].

*Impulse-based methods*

Impulse-based methods are less quoted in the references. They restitute forces in impulse form in collision events. Continuously collisions are treated like series of small collisions, in every of them impulses are applied to avoid penetration between objects. They produce visually acceptable results, but not very convenient in haptics.

*Degrees of freedom*

Another classification of haptic rendering methods is based on the degrees of freedom on which they can act. When they only act on the translations of the virtual object they are called methods of three degrees of freedom (3DOF), but if they also act on the turns of the object they are considered methods of six degrees of freedom (6DOF). For example the haptic rendering algorithm of Three Degrees of Freedom (3DOF) [2] takes as input the position and orientation of the haptic device and transforms them to the reference system of 3D dataset.

**3.2. Languages and Tools**

Several tools, libraries and languages support the development of haptic applications. They interact with haptic devices and even reveal implementation details of certain device function features such as HDAL, then

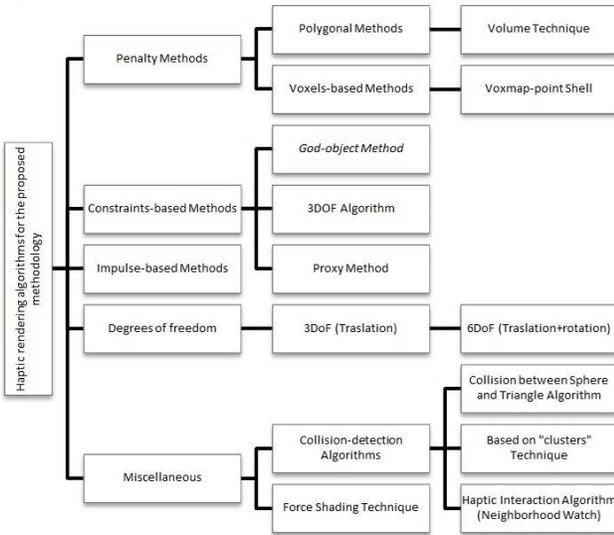


Figure 3. Classification of Haptic Rendering Algorithms.

they are described briefly some of them.

*Object and model generation*

Generation of models and objects is performed by a wide range of specialized software. Examples of these programs are: Blender is an open source suite to create 3D animations, 3DStudioMax is useful for creating virtual objects and scenes, OpenGL is a multi-platform library that allows developing 3D graphic applications and presents a very structured way of programming the haptic device.

Some general features of the software are: professional support in modeling and animation, varied file formats allowed, simulations and high quality sculptures creation, etc.

*Game engines*

Today there are a variety of game engines for creating applications with a wide diversity of languages some of which include their own Software Development Kit (SDK). Two of them are: Unity, a game development engine to create interactive 3D content and Panda3D that is a framework for 3D rendering and game development [5].

*Languages*

General purpose languages such as C++, C#, Java and Visual Basic and interpreted programming languages such as Python (that through scripts makes Blender extendible) are commonly used to develop haptic applications. The most common language to develop haptic application is C++, that is because the VCollide library, as well as, OpenGL and others libraries are

based on it.

*Libraries and plugins*

Some libraries detect whether objects in a virtual environment are colliding with each other or with devices, there are commercial and other free distribution, such as ICollide, Vcollide, Rapid, etc. [6]. They are designed to work with specific models and algorithms. Others as H5H, which is a plugin to provide haptic web effects, HAPI (Haptic API) provide haptic effects, H3DAPI uses OpenGL to handle graphics and haptic scenes and CHAI3D that is an open source set of C++ libraries used for graphic and haptic rendering [7].

*HDAL*

The Haptic Device Abstraction Layer (HDAL) provides a uniform interface to all supported type devices. The API provides means for selecting a device, initializing it, reading its state, etc. This includes implementing a callback function that HDAL will cause to be executed at a 1 KHz rate, to achieve the required haptic fidelity [8].

**3.3. Haptic Devices**

A haptic device stimulates tactically the operator, this information is received through the skin by pressuring of a certain area, through twists and movements supported in a virtual environment. In [?, 6] they are classified according to their portability in: desktop, fixed and portable.

*Desktop*

Desktop devices provide information about embossing, texture and even temperature of the virtual environment. They are used like a joystick and are subdivided into spherical, cartesian, parallel, serial and made out of cables. Some examples are: Novint Falcon, Phantom Omni, Excalibur (Cartesian), MantisFlyer (made out of cables), etc.

*Fixed*

Fixed devices reproduce the movements of the operator in the remote environment through an anthropomorphic robot with similar operator arms. In this classification fixed exoskeletons and robot arms are found, for example, the Master Arm, Haptic Master, etc.

*Portable*

In Portable devices the user can support the whole weight of the interface. They can be exoskeletons hold to operator and others like gloves, for example, CyberGrasp and Rutgers Master II.

*Novint Falcon Haptic Device*

The Novint Falcon desk haptic device provides information about embossing, texture and feedback force. It is a commercial haptic device to develop video games. It has three degrees of freedom, a removable end-effector, a USB interface and bears three Newtons of force. It is a parallel robot with three arms joined by an end effector. It is considered as a manipulator robot. Its dynamic model is shown in Equation 2 [9].

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + g(q) = \tau \tag{2}$$

Today we can see affordable devices, compatible with different languages, easy to use, give the user a more immersive experience and a realistic sense of touch, whose applications are in several areas: education, telemedicine, robotics, surgical training, etc.

**4. Analysis**

**4.1. Phases and activities of the methodology**

Some activities of the first two stages analyzed in this paper, are presented here, which could be applied in concordance with the needs of any project.

*Analysis of project requirements*

At this phase are defined some activities: Defining geometry objects, planning moves allowed, analysing the haptic device suitability, proposing forces rendering procedure, devising proxy relation to the position of the haptic device, preparing sensory channels to be worked on and proposing of modeling software, libraries and language.

*Activities at selection of methods and algorithms for Haptic Rendering*

Some activities under this phase are described: Setting type of objects to be worked on, calculating position and orientation of objects, checking the necessary level of haptic feedback (calculation of forces and torques), detecting collisions, calculating collision response (calculate the surface normal and the point of contact and time response).

*Activities for the phase of setting of languages, libraries and software*

At this stage we will have to perform activities such as: Designing the virtual environment, designing graphic rendering (convert geometric pattern on an image), designing proxy relation to the position of the haptic

NO	ALGORITHM	LANGUAGE AND TOOLS	DEVICE	OBJECTS
1	God-Object	C++, Java, C#, CHAI3D	PHANTOM Omni / Falcon	Point, plane
2	Force Shading	Python/ Panda3D	PHANTOM Omni	Polyhedral meshes
3	Virtual Proxy	C++, Java, CHAI3D	PHANTOM Omni / Falcon	Spherical object
4	Haptic rendering on different scales	OpenGL, C++, HAPI library	Falcon	Point cloud based 3D models
5	Based on clusters" Technique	C++, Java, C#	PHANTOM Omni SARCOS Desterous	Convex objects

Figure 4. Selection of tools for different types of projects.

device, checking haptic device compatibility, creating or setting the initialization routines of the haptic device with libraries and programming chosen algorithms.

*Activities in the setting Hardware (haptic devices) phase* in this last phase were carried out activities such as: Reviewing all the technical specifications, determining the maximum weight to bear, determining the degrees of freedom, make reading device status (position, velocity, buttons, etc), considering the borne work area, analyzing the kinematics of the device, creating or setting the device dynamic model (using Denavit-Hartenverg Algorithm), and transforming the device coordinates to the end user.

**4.2. Selection of tools, languages, devices and objects**

In this section a table of possible choices of algorithms, tools and languages is presented, as well as some aspects to consider for the use of algorithms according to the type of interaction and Virtual Reality project you want to develop.

The first is an effective rendering technique with mesh models of objects, but it fails in the use of point cloud based models.

Second, it renders smooth objects and it is used to create the illusion of a smoothly curved shape.

The third allows working with thin objects, but it is invalid to represent applications where there are twists.

The fourth is capable of rendering Monge surfaces represented by a non-uniform point cloud data.

And the fifth helps to prevent that collision method detect a high number of different contacts at the time of decomposing convex primitive geometric models (See Figure 4. Selection of tools for different types of projects.).

The use of algorithms, languages, tools, devices and objects depend on the parameters set for any project

and after a whole review the most appropriate tools and languages can be chosen.

## 5. Conclusions and Future Work

In this article it was presented the use of a methodology that will provide support and guidance in developing focused haptic rendering applications, as well as, a classification of a set of algorithms.

Three main processes have been identified: Selection of algorithms and methods for haptic rendering according to the project developed, selection of languages and specialized software tools for virtual applications and selection of haptic devices, all these considerations are key to the development of a dedicated project in haptic rendering. Also it have been proposed the most important activities for some phases of the methodology.

## 6. ACKNOWLEDGMENTS

We thank the CACyPI-UATX-2014 program "Academic Bodies, Quality and Productivity for Internationalization" for their support in this project.

## References

- [1] G. Burdea and P. Coiffet. *Virtual Reality Technology*. John Wiley & Sons, 2003.
- [2] L. Corenthy and J.S. Martin. "Volume Haptic Rendering with Dynamically Extracted Isosurface", *IEEE Haptics Symposium, Vancouver, 2012*.
- [3] D. Goldáraz and M. García. "Diseño de un algoritmo de navegación háptica". Universidad Rey Juan Carlos, España., 2010.
- [4] K.G. Sreeni and K. Priyadarshini. "Haptic Rendering of Cultural Heritage Objects at Different Scales". Vision and Image Processing Laboratory, Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, 2012.
- [5] PANDA3D. [www.panda3d.org](http://www.panda3d.org)
- [6] M. Ambrosio and D. Ramírez. "Desarrollo de interfaces hpticas en medios virtuales". Universidad Simón Bolívar, Venezuela, 2011.
- [7] CHAI3D. [www.chai3d.org/concept.html](http://www.chai3d.org/concept.html)
- [8] "Haptic Device Abstraction Layer (HDAL) Programmer's Guide", *Novint Technologies Incorporated Albuquerque, USA, 2008*.
- [9] J. Gamboa and G. Sepúlveda. "Análisis Biomecánico y Anatómico para el Modelado Dinámico y Simulador Virtual del Tejido Blando con Dispositivos Hápticos". 8vo. Congreso Nacional de Mecatrónica, 2009.

# Simulación Estructurada del Filtro de Kalman para Identificación de Estados en un Motor de C.C. Sobre una Computadora Embebida

José Luis Cano Rosas, Gustavo Delgado Reyes, Pedro GuevaraLópez

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacan del Instituto Politécnico Nacional  
Av. Santa Ana No. 1000, Col. San Francisco Culhuacan, Deleg. Coyoacán, D.F., México, CP 04260.  
[lucskyr@gmail.com](mailto:lucskyr@gmail.com), [dengue\\_mgs4@hotmail.com](mailto:dengue_mgs4@hotmail.com), [pguevara@ipn.mx](mailto:pguevara@ipn.mx)

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

El Filtro de Kalman es un algoritmo identificador de estados que minimiza los ruidos de un sistema, esto motivó al desarrollo del presente trabajo, donde se presenta una simulación estructurada del Filtro de Kalman. La programación se hizo en una computadora embebida Raspberry Pi, ésta cuenta con el sistema operativo Raspbian y un compilador de lenguaje C que permite la implementación de algoritmos iterativos y recursivos. Como ejemplo de estudio se simula el modelo matemático de un motor de C.C. y se identifican sus estados a través del Filtro de Kalman, para ello se programaron una serie de Shell Scripts desarrollados como librerías para realizar operaciones matriciales y algunas funciones para análisis estadístico. Para presentar las gráficas de los resultados, los algoritmos de la computadora embebida almacenan los datos de las respuestas obtenidas de los estados identificados y errores cuadráticos medios para finalmente graficarse con Matlab.

*Palabras clave:* Embebido, Filtro de Kalman, Motor, Raspberry Pi, Simulación.

---

## 1. Introducción

De acuerdo a [1], un filtro digital es un dispositivo que elimina, extrae, predice, reconstruye y describe parte de la información de un sistema, de acuerdo a un criterio previamente establecido. Con base en esto en [2] y [3], el Filtro de Kalman se describe como un algoritmo basado en el modelo de espacio de estados de un sistema para estimar el estado futuro y la

salida futura realizando un filtrado óptimo a la señal de salida y dependiendo del retraso de las muestras que se le ingresan puede cumplir la función de estimador de parámetros o identificador de estados, en ambos casos se obtiene la disminución de ruido [4] y [5]. El Filtro de Kalman tiene muchas aplicaciones prácticas, una de ellas es la disminución de ruidos gaussianos en motores eléctricos de corriente continua. La construcción de un motor eléctrico se basa en dos partes que se deno-

minan campo y armadura; en ambas partes, llevan un devanado que al ser excitado con energía eléctrica se crean dos campos magnéticos que al acoplarse desarrolla un par de fuerzas que dan origen a la rotación, creando así un movimiento en el rotor por lo que esta energía mecánica se manifiesta en la flecha del motor. [6]

Por otra parte, un Sistema Embebido es un término asociado a los circuitos electrónicos que contienen diferentes componentes o subcircuitos encapsulados en un solo dispositivo, como ejemplo los microprocesadores, microcontroladores, arreglo de compuertas, etc. Una gran variedad de organizaciones han diseñado diferentes tarjetas electrónicas de desarrollo que permiten interactuar con los sistemas embebidos, por mencionar algunas están DE0 de Terasic, Arduino Mega 2560, Freescale y Raspberry Pi, este último por su practicidad es el sistema en el cual se desarrolla el presente trabajo, sirviendo como plataforma para la implantación del filtro de Kalman.

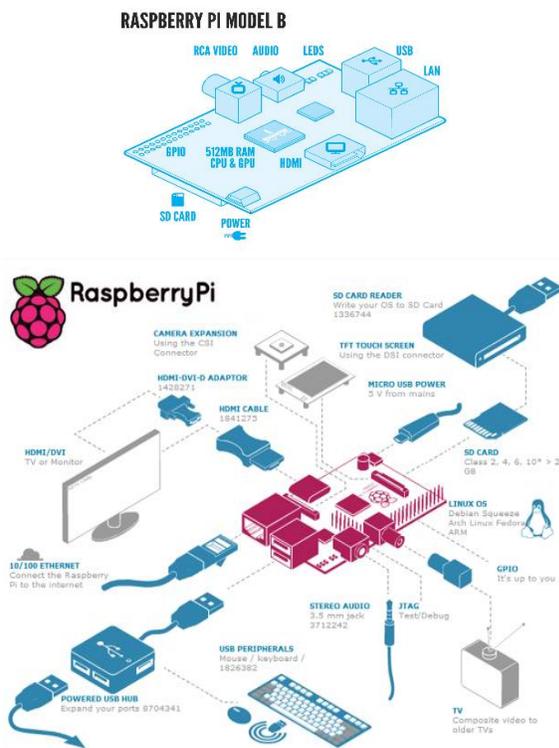


Figura 1. Esquema del sistema embebido y su conectividad.[8]

Una Raspberry Pi [8] (ver figura 1) es una computadora embebida con arquitectura system on a chip, que integra la mayoría de los componentes en un solo circuito integrado. Esta tarjeta de desarrollo está compuesta con un chip BCM2835 que contiene un procesador ARM1176JZF-S de 700MHz (el cual se puede someter a overclock), procesador gráfico VideoCore IV y 512 MB

de memoria RAM. Es preciso mencionar que existen diferentes aplicaciones del filtro de Kalman en sistemas embebidos diversos, e inclusive en software de programación y análisis como lo son Labview y Matlab, el trabajo que presenta este artículo tiene como uno de los principales aportes, el desarrollo de librerías que realizan el algoritmo del Filtro de Kalman en Raspberry Pi.

## 2. Filtro de Kalman como Identificador de Estados

### 2.1. Esquema del Filtro de Kalman para identificación de estados

El Filtro de Kalman opera bajo un esquema observador para identificación de estados como el que se aprecia en la figura 2.

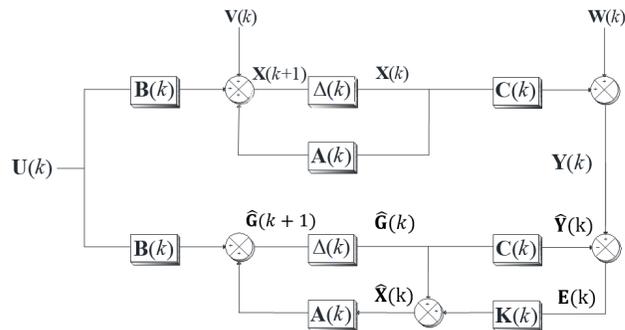


Figura 2. Filtro de Kalman para identificación de estados.

### 2.2. Estructura de la simulación del Filtro de Kalman para identificación de estados

Donde para la identificación de los estados del sistema es necesario conocer las matrices propias del sistema dinámico  $A(k)$ ,  $B(k)$ ,  $C(k)$  y  $D(k)$ , los vectores de ruidos agregados  $V(k)$  y  $W(k)$  y las matrices de covarianza  $Q(k)$  y  $R(k)$ , de esta manera para utilizar el filtro de Kalman se aplica procedimiento mostrado en la figura 3.

## 3. Modelado del Motor Eléctrico de Corriente Continua

Para el desarrollo del modelo matemático del motor se partió del circuito electromecánico mostrado en la figura 4. La descripción de cada una de las variables mostradas en el circuito de la figura anterior se muestra en la tabla 1.

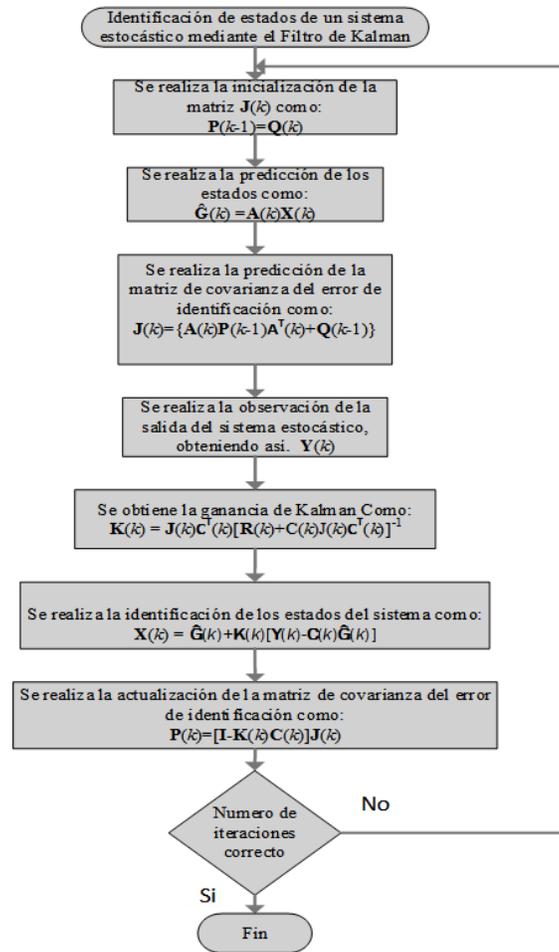


Figura 3. Algoritmo para identificación de estados mediante el Filtro de Kalman.

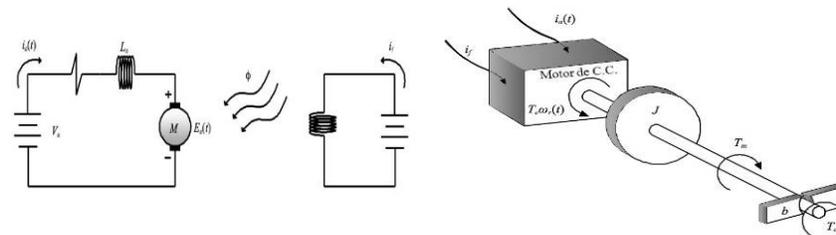


Figura 4. Diagrama Eléctrico del motor de C.C. y Diagrama mecánico del motor de C.C.

Tabla 1. Variables del motor de C.C

Variable	Descripción	Unidades
$R_a$	Resistencia de la armadura	$\Omega$
$L_a$	Inductancia de la armadura	$mH$
$i_a$	Corriente de la armadura	$A$
$i_f$	Corriente del campo	$A$
$V_a$	Tensión aplicada a la armadura	$V$
$\ell_b$	Fuerza contraelectromotriz	$V$
$W_r$	Velocidad angular del eje del motor	$rad/seg$
$T$	Par desarrollado por el motor	$Nm$
$J$	Momento de inercia	$kgm^2$
$b$	Coefficiente de fricción viscosa	$\frac{Nms}{rad}$

Las ecuaciones (1) y (2) representan el modelo del motor en espacio de estados en el dominio del tiempo continuo:

$$\frac{d\mathbf{X}(t)}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}\mathbf{U}(t) + \mathbf{V}(t) \quad (1)$$

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{X}(t) + \mathbf{W}(t) \quad (2)$$

Donde:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{-R_a}{L_a} & \frac{-K_a i_f}{L_a} \\ \frac{-K_a i_f}{J} & \frac{-b}{J} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & \frac{1}{J} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{X}(t) = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ \omega_r(t) \end{bmatrix} \quad \mathbf{U}(t) = \begin{bmatrix} V_a(t) \\ T_d(t) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}(t) = \begin{bmatrix} V_1(t) \\ V_2(t) \end{bmatrix} \quad \mathbf{W}(t) = \begin{bmatrix} W_1(t) \\ W_2(t) \end{bmatrix}$$

#### 4. Identificación de los Estados del Motor de Corriente Continua Utilizando el Filtro de Kalman

El Filtro de Kalman se ha discretizado por la ecuaciones (1) y (2) con un periodo de muestreo de 10 milisegundos, Obteniéndose el sistema en espacio de estados en el dominio del tiempo discreto que se observa en (3) y (4):

$$\mathbf{X}(k+1) = \begin{bmatrix} -0.0001 & -0.3291 \\ 0.0003 & 0.9869 \end{bmatrix} \mathbf{X}(k) + \dots$$

$$\dots + \begin{bmatrix} -0.3323 & 0.0032 \\ 0.0032 & -0.0099 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a(k) \\ T_d(k) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{Y}(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{X}(k) + \begin{bmatrix} 5.7600 & 0 \\ 0 & 5.7600 \end{bmatrix} \mathbf{W}(k) \quad (4)$$

En la ecuación (3) y (4) se aprecian las matrices de covarianza **Q** y **R**, las cuales se define en (5) y (7):

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \sigma_V(k)\sigma_V(k) & 0 \\ 0 & \sigma_V(k)\sigma_V(k) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.0196 & 0 \\ 0 & 0.0196 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Al analizar la ecuación (5) se ve que cada uno de los elementos de la matriz define el momento de covarianza de **V(k)**, éste es igual al segundo momento central del ruido agregado a la entrada del sistema; por lo que en (6) se establece el intervalo en el cual puede ser

evaluado el momento de covarianza para dos variables aleatorias es decir:

$$0 \leq k_{xy} \leq \sigma_y \sigma_x \quad (6)$$

De acuerdo a la ecuación (4) la matriz **R** se define como:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \sigma_W(k)\sigma_W(k) & 0 \\ 0 & \sigma_W(k)\sigma_W(k) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 5.7600 & 0 \\ 0 & 5.7600 \end{bmatrix} \quad (7)$$

La matriz **R** define el momento de covarianza de **W(k)**.

#### 5. El Filtro de Kalman en el Sistema Embebido Implementado en la Computadora Raspberry Pi

Para la implementación del Filtro de Kalman y la simulación del motor en la computadora embebida, se utilizó el sistema operativo Raspbian, diseñando una biblioteca de desarrollo propio llamada matrices.h, esta se muestra en la figura 5.

```
void imprimir_matriz(double**, int, int);
void imprimir_vector(double*, int);
double **producto_matriz(double**, double**, int, int, int);
double **iniciar_matriz(int, int, double);
double **inversa(double**, int);
double **matriz_identidad(int);
double **transpuesta(double**, int, int);
double **llenar_matriz(int, int);
double **sumar_matriz(double **, double **, int, int);
double **restar_matriz(double **, double **, int, int);
double *iniciar_vector(int, float);
double **pseudo_inversa(double**, int, int);
double **perturbacion(double**, int, int, double);
double **matriz_igual(double **b, double **a, m, n);
double **valor_inicial(double **a, int m, int n, double x);
```

Figura 5. Funciones para operaciones matriciales utilizadas por el filtro de Kalman.

Con las funciones de la figura 5 se realiza la simulación del sistema dinámico, obteniendo **Y(k)**. La entrada restante al filtro se obtiene al agregar ruidos a **U(k)**. El algoritmo para programar el Filtro de Kalman se describe mediante el diagrama de flujo que de manera simplificada se observa en la figura 3, donde se describen las operaciones que permiten la identificación y filtrado, al compilarse y ejecutarse permiten la obtención de

los resultados experimentales que se muestran en la siguiente sección.

### 6. Resultados Experimentales

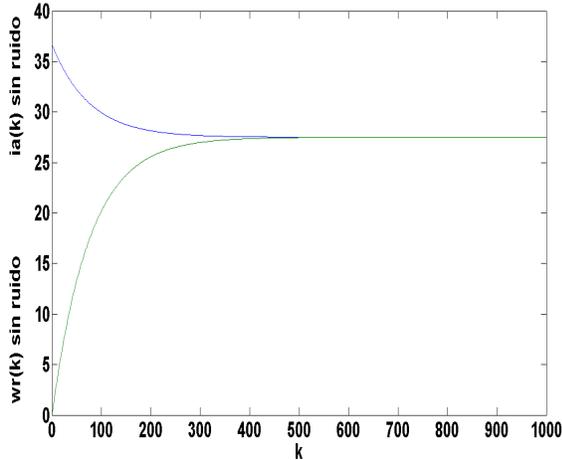


Figura 6. Gráfica de  $X(k)$  sin ruidos (respuesta ideal del sistema).

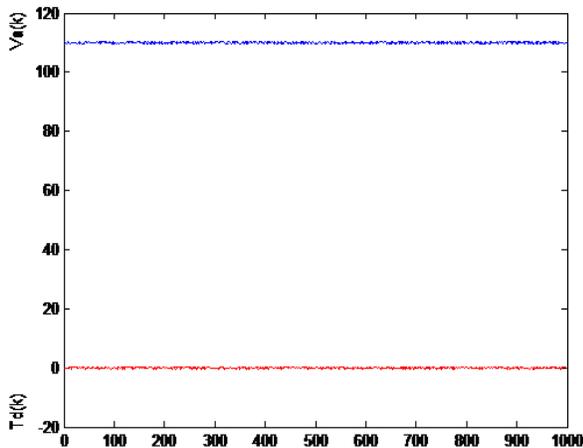


Figura 7. Gráfica de  $U(k)$ , donde  $V_a(k)$  es la curva superior y  $T(k)$  corresponde a la gráfica inferior para 1000 iteraciones.

Para obtener los resultados experimentales de las figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11 en la Raspberry Pi, se programó la simulación en el sistema operativo Raspbian y se permite la escritura de los datos en una localidad del disco duro, conformándose vectores en formato de texto que son graficados en Matlab.

Los errores cuadráticos medios han sido obtenidos en cada iteración del algoritmo programado mediante el cálculo de la esperanza matemática del error que existe entre las respuestas del sistema ideal y las respuestas  $Y(k)$  (las cuales contienen ruido y no han sido filtradas)

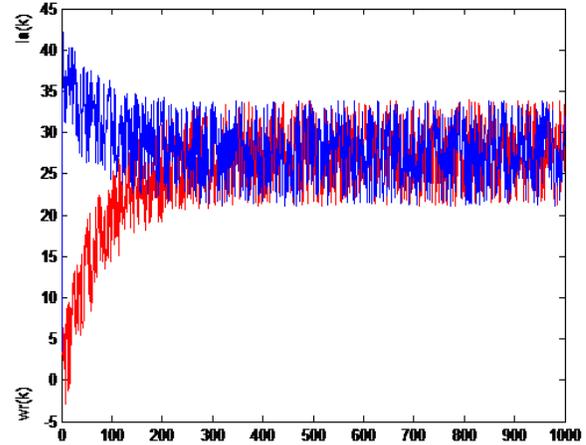


Figura 8. Gráfica de  $Y(k)$ , donde  $i_a(k)$  con ruido es la curva superior y  $W_r(k)$  con ruido corresponde a la gráfica inferior para 1000 iteraciones.

para el caso de la figura 10, y el error existente entre la salida del sistema ideal y los estados identificados (los cuales presentan una disminución considerable en los ruidos ver figura 9 producto del filtrado al que han sido sometidos) para el caso de la figura 11, mediante un análisis a estas figuras se establece que a medida que se logra la disminución del ruido en las respuestas del sistema, los errores cuadráticos convergen de manera asintótica a valores cada vez más cercanos a 0; sin embargo cuando el filtrado no es adecuado esta convergencia no tiene como límite un valor cercano a 0 (como se aprecia en la figura 10), es de esta manera como se validan los resultados de filtrado obtenidos en el presente trabajo, en el que se ha demostrado que los errores cuadráticos obtenidos para los estados identificados convergen a valores muy pequeños (0.025), en tanto que los obtenidos para las respuestas sin filtrar lo hacen a valores distantes de 0 (14.0), observe las figuras 10 y 11.

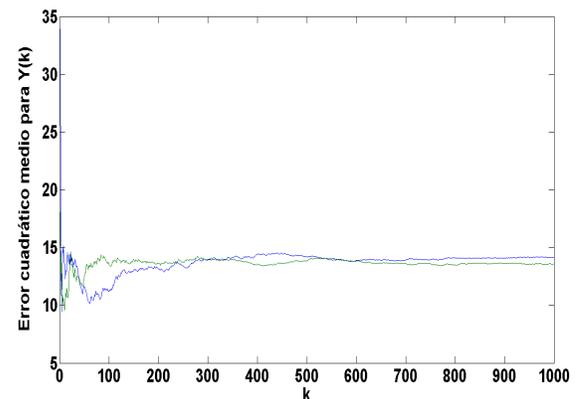


Figura 10. Gráfica de error cuadrático medio de  $Y(k)$ .

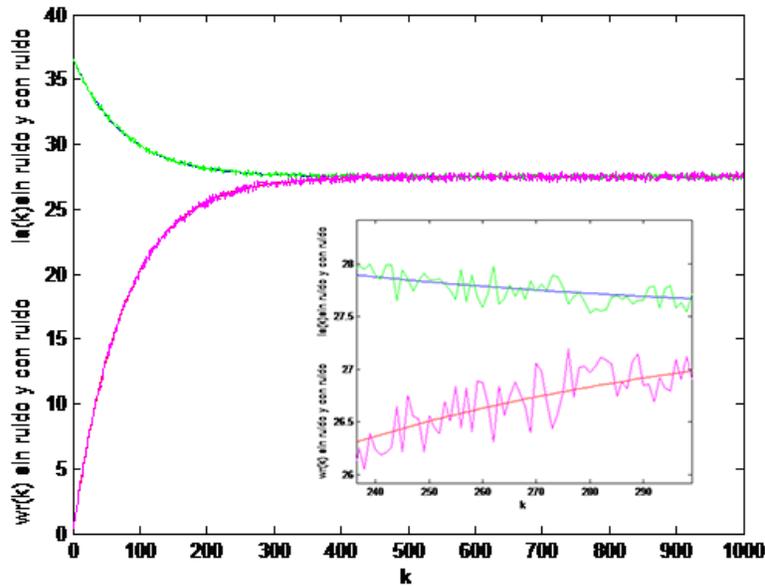


Figura 9. Gráfica de  $X(k)$  y  $\hat{X}(k)$  correspondiente a 1000 iteraciones.

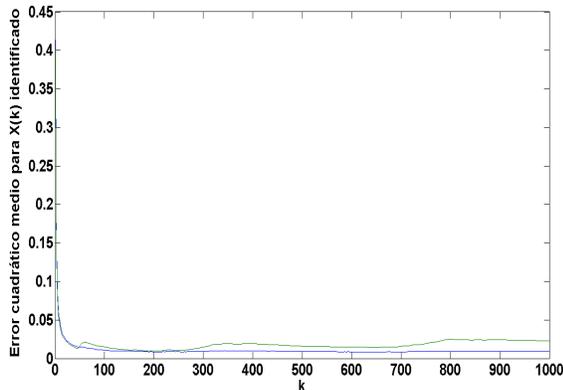


Figura 11. Gráfica de error cuadrático medio de la identificación de  $X(k)$ .

### 7. Conclusiones

Los sistemas dinámicos pueden modelarse a través de sus estados observables y estados internos, los primeros siempre son conocidos, mientras que los segundos tienen que identificarse para conocer la dinámica completa del sistema; una herramienta muy poderosa para identificación es el Filtro de Kalman, que además de identificar estados internos, elimina el ruido.

Para la implementación de la simulación del sistema en estudio y del Filtro de Kalman en una computadora embebida es necesario expresar el modelo en forma discreta y recursiva con el fin de obtener un algoritmo

de baja complejidad computacional; en este sentido, la propuesta fue utilizar una computadora embebida Raspberry Pi para la simulación del Filtro de Kalman utilizado en la identificación de estados de un motor de corriente continua. Cabe mencionar que se hizo una búsqueda exhaustiva en la literatura y no se encontraron trabajos que implementen el Filtro de Kalman en una computadora Raspberry Pi.

Los algoritmos fueron desarrollados en Lenguaje C, compilados y ejecutados en Raspbian, para ello se desarrolló una biblioteca con diferentes funciones matriciales para la implementación del motor eléctrico y del Filtro. Los resultados de la simulación se observan en las figuras 6 a 9; se aprecia que la identificación de estados es muy buena así como la eliminación de ruidos, para ello se presentan las gráficas de las figuras 10 y 11 donde se observa su calidad a través de las magnitudes de los errores cuadráticos medios.

### Referencias

- [1] J. Abonyi. "Fuzzy model identification for control 1 st ed (Birk hauser Boston 2003). P. 19".
- [2] J. G. Díaz, A. M. Mejía y F. Arteaga. "Aplicación del filtro de Kalman a sistemas de Control," 2009.
- [3] Haykin S. "Cognition is the Key to the Next Generation of Radar Systems," 2009.
- [4] R. E. Kalman. "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems". Transactions of the ASME-Journal of Basic Engineering, 82. Series D, 1960, P.35.
- [5] J.J. Medel Juárez "M.T. Zagaceta Álvarez, Estimación- identificación como filtro digital integrado: descripción e im-

- plementación recursiva, Revista Mexicana de Física No. 56,”  
2010.
- [6] J. S. Valdez Martinez. (2008), “Modelado discreto, Simulación,  
y Control de un Motor de un motor de corriente continua tipo  
serie considerando pérdidas. ”. Mexico D.F.
- [7] Gustafsson F. “Adaptive filtering and change detection”. Ed.  
John Wiley and Sons , LTD, Linkoping University Sweden,  
2000.
- [8] Rapsberry PI. [http://www.raspberrypi.org/help/  
what-is-a-raspberry-pi/](http://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/) ,Septiembre 2014.

# Metodología para el Desarrollo de Mundos Virtuales, con un Caso de Estudio: Independencia de México

Marva Angélica Mora Lumbreras, Iván López Rafael, Carlos Alberto Meza Alvarado,  
Alberto Portilla Flores, Norma Sánchez Sánchez, Carolina Rocío Sánchez Pérez

Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología  
Calzada, Apizaquito s/n, Apizaco Tlaxcala, México. 90401.

{marva.mora,ivan.lopez.9024,carlosalbertoma22,alberto.portilla,nsanchez74,krlinasp}@gmail.com

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

Los Mundos Virtuales permiten producir investigación y el desarrollo de proyectos multidisciplinarios, combinando los talentos de investigadores en diversas áreas. Además de que permiten a los estudiantes interactuar con tecnología moderna y novedosa. Específicamente, este artículo se centra en la presentación de una metodología de desarrollo de Mundos Virtuales, y se utiliza como un caso de estudio el desarrollo de un Mundo Virtual enfocado a la enseñanza, visto como una herramienta pedagógica, y teniendo como tema central la Independencia de México.

*Palabras clave:* Metodología de desarrollo, Realidad Virtual, Objetos 3D, Historia.

---

## 1. Introducción

Hoy en día, el desarrollo tecnológico ha traído grandes beneficios en muchas áreas, sin duda, Realidad Virtual es una de las áreas que se ha beneficiado. Actualmente, se pueden crear diferentes actividades de aprendizaje en la educación que hace una década eran inimaginables, tales como la construcción de mundos virtuales con contenido de eventos históricos y culturales.

Específicamente, en este artículo se presenta una metodología de desarrollo de Mundos Virtuales, así como un proyecto desarrollado en la Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de

Tlaxcala, en el proyecto se permite recorrer mundos virtuales de eventos importantes de la Independencia de México, basándonos en el hecho de que en la actualidad los mundos virtuales se pueden ver como una herramienta y espacio de aprendizaje prometedor para el desarrollo de estrategias educativas.

Se ha decidido trabajar con la historia de México tomando como hecho que, la historia es la maestra de la vida, un conocimiento que suele utilizarse como justificación del presente [1]. Sabiendo además, que para el aprendizaje de la historia existen cierta complejidad, como la adquisición de conceptos históricos, la dificultad de percibir el tiempo y espacio en los diferentes eventos involucrados.

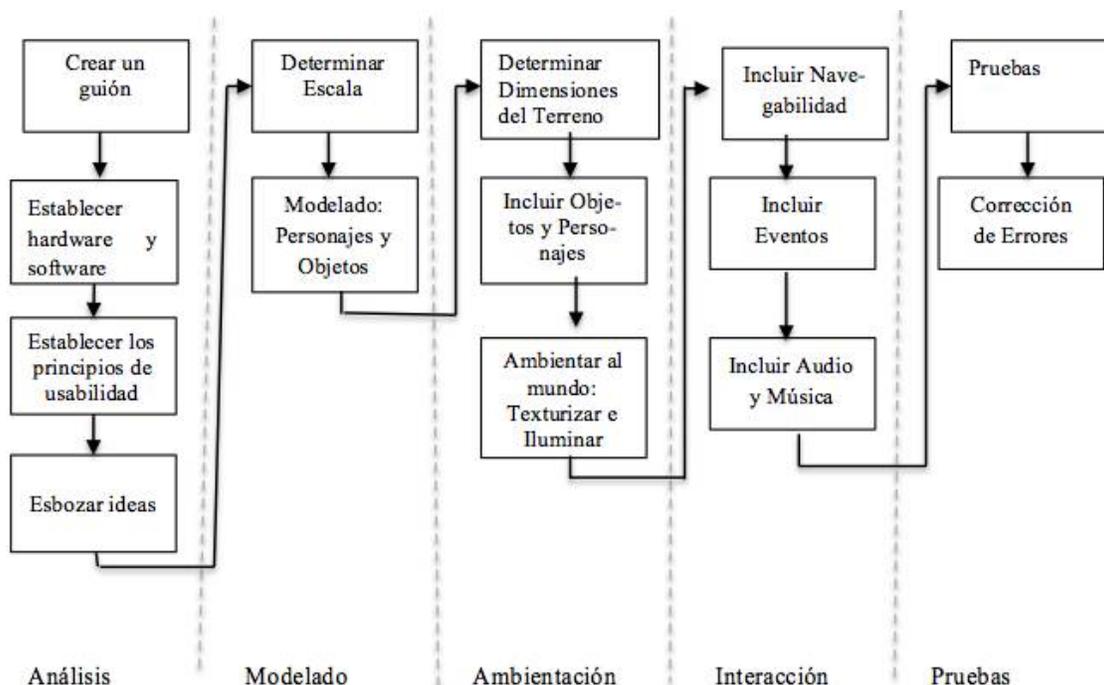


Figura 1. Metodología de desarrollo del proyecto

Es importante mencionar algunos proyectos clave para el desarrollo de este proyecto, en el que la tecnología forma ya parte de la enseñanza, el primero es La Odissea, un videojuego basado en la obra literaria que lleva el mismo nombre y que tiene como objetivo enseñar la literatura [2]. Otro proyecto que resulta interesante mencionar es Lost in La Mancha es un videojuego que esta orientado en la enseñanza del lenguaje español basado en el plan curricular del Instituto Cervantes [3]. De manera más específica, podemos mencionar el proyecto de Cacaxtla y Xochitécatl que permite presentar de manera virtual la zona arqueológica ubicada en el sur del estado de Tlaxcala, zona mundialmente conocida por la calidad de sus pinturas [4], el mundo virtual educativo: Webkinz [5] es otro ejemplo de proyectos que han involucrado mundos virtuales en la enseñanza.

## 2. Realidad Virtual y Educación

La tecnología ha evolucionado de tal forma que hoy en día, todas las computadoras son capaces de manejar gráficos, videos, mundos virtuales, audio, etcétera, aspectos que pueden ser utilizados en la educación. Algunas herramientas pedagógicas que ya está siendo usadas son hechas con características multimedia, y poco a poco se esta introduciendo el uso de libros digitales. En ambos casos se maneja información real de tipo convencional con imágenes digitales y audio.

Se puede decir que el área de Realidad Virtual es una excelente opción para la enseñanza, por sus características y facilidades que proporciona, captando el interés y entusiasmo de los jóvenes a través de la inmersión y dinamismo, que bien pueden ser aprovechados en diferentes materias que conforman un plan de estudios de cualquier nivel educativo.

Consideramos que el área de Realidad Virtual tiene el potencial necesario para ser utilizado en la Educación, ya que a partir de esta área se pueden generar una gran variedad de herramientas didácticas para apoyar a los profesores en su enseñanza. Las herramientas didácticas virtuales pueden ser tan simples como objetos tridimensionales, o tan complejas como laboratorios, edificios y/o simuladores, cuidadosamente diseñados para acercarse a la realidad.

Cabe mencionar, que actualmente existen Instituciones tradicionales que aún no están involucrándose en el uso de herramientas virtuales, sin embargo hay otras Instituciones que participan activamente en los cambios para beneficio y apoyo a la enseñanza, explorando y explotando los avances de la tecnología.

## 3. Mundos virtuales como estrategia pedagógica

Para llevar a cabo el aprendizaje se requiere de estrategias didácticas innovadoras enfocadas en el estudiante, que le permitan captar el conocimiento, desarrollar

habilidades, y adentrarse dentro del mismo, lo que en realidad virtual se le conoce como tener una inmersión. Un mundo virtual sin duda, permite que el estudiante aprenda en el camino que tiene que recorrer, pasar por un conjunto de tareas muy específicas, a través de las cuales incluso se resuelven problemas que se le plantean al estudiante y llegar al final de un recorrido logrando alcanza un conjunto de metas y conocimientos.

Se puede decir entonces, que un mundo virtual es una estrategia de enseñanza-aprendizaje, que considera conocimientos y habilidades.

#### 4. Metodología propuesta

La complejidad de un proyecto de esta índole llevo a la generación de una metodología para el desarrollo de software usando mundos virtuales. Este incluye varias tareas clave imprescindibles, y que por su naturaleza, hacen multidisciplinarios este tipo de proyectos, ver la figura 1.

- 1) Es requisito indispensable tener una idea clara de lo que se presentará en el mundo virtual, para ello se requiere de un guión detallado, que tenga actividades y metas fijas.
- 2) Establecer el hardware a utilizar (tipo de plataforma, dispositivos de realidad virtual), así como el software (Sistema Operativo, Software para modelado, motor gráfico).
- 3) Establecer los principios de usabilidad para el producto de Realidad Virtual: inmersión, retroalimentación, interactividad, navegación, orientación y ayuda.
- 4) Es importante esbozar ideas a lápiz de lo que se hará, dibujos, mapas, construcciones, si el proyecto se desenvuelve en alguna época diferente a la actual se debe considerar cada detalle, desde tipo de construcciones, tipo de vestuario, tipo de mobiliario, etc.
- 5) Es necesario manejar dimensiones y escalas, los motores por lo general tienen la opción de establecer medidas en los terrenos a utilizar. Del mismo modo, se debe considerar este detalle para los objetos virtuales involucrados.
- 6) Todo proyecto virtual requiere de modelado de cada detalle, desde los personajes, objetos, mobiliarios, edificios, etc. Existen diferentes herramientas para modelar objetos 3D como: blender, 3D max y sketchUp, hay que destacar que los objetos deben ser compatibles con el motor gráfico elegido.
- 7) La creación de un mundo virtual puede realizarse con lenguaje de programación como java, delphi, visual C o con un motor gráfico como Unity 3D, en

donde se tienen que establecer las dimensiones del terreno.

- 8) Por lo general el modelado de los personajes y objetos incluidos se insertan en un motor gráfico, es importante determinar previamente la compatibilidad entre el motor gráfico y los modelos 3D.
- 9) Es necesario ambientar el terreno virtual manejando iluminación y sombras. Al mismo tiempo, es posible texturizar en el motor gráfico los objetos y personajes usados, los motores dan las facilidades para esta tarea.
- 10) Sin duda la navegabilidad en un mundo virtual es fundamental, la movilidad del usuario para poder recorrer los diferentes caminos es una tarea clave que no debe ser olvidada, la cual se logra con el uso de cámaras desde el motor gráfico.
- 11) La generación de mundos virtuales debe tener actividades que desempeñar y metas que cumplir, ya sea que el mundo virtual se construya como diversión o como herramienta didáctica. Cada actividad conlleva una programación inteligente y coherente.
- 12) Una actividad dinámica y virtual siempre debe de ir acompañada de música, y en su caso de diferentes audios explicativos.
- 13) Una vez armado el proyecto debe ser probado, primeramente debe probarse por módulos, se prosigue con pruebas de integración, así como es importante que se pruebe su usabilidad y su interacción.
- 14) Los errores de cada prueba realizada deben ser corregidos, logrando de esta forma un proyecto de calidad y confiable.
- 15) De igual forma es necesario dar mantenimiento y seguimiento a este tipo de proyectos. Así como evaluar su impacto y trascendencia.

#### 5. Estudio de factibilidad del proyecto Mundo Virtual de la Independencia de México

Para el desarrollo de este proyecto se realizó un estudio previo enfocado al público en general, en este caso primeramente se deseaba determinar el grado de conocimientos de la Independencia de México. Para ello se realizó una encuesta con 10 preguntas de conocimientos de diferentes sucesos y personajes importantes de la historia. En esta encuesta se incorporó al final una pregunta para determinar el nivel de interés que produciría el Desarrollo de Mundos Virtuales: Caso de Estudio Independencia de México. La encuesta se hizo a 20 personas de distintas edades. Ver tabla 1.

En la figura 2 se presentan los resultados obtenidos de las evaluaciones. El índice de respuestas correctas

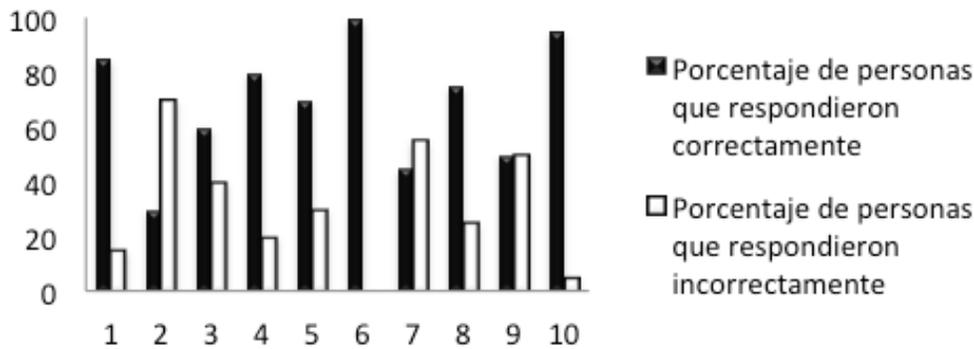


Figura 2. Porcentaje de conocimientos de la Independencia de México

es medianamente satisfactorio, solo presentaría problemas en las preguntas 2, 7, y 9. Por el lado de la pregunta 11, el 90 % de los encuestados manifestó interés en el desarrollo del proyecto Desarrollo de Mundos Virtuales: Caso de Estudio Independencia de México.

### 6. Caso de Estudio: Mundo Virtual de la Independencia de México

En este artículo se presenta un caso de estudio, el cual esta enfocado en la Independencia de México, contiene doce escenarios. Para fines educativos el proyecto esta desarrollado para fungir como complemento educativo a nivel a primaria y secundaria en México, pero también esta dirigido al público en general. Este proyecto es de tipo Beatém up RPG, se desarrollo con

Blender, Unity y GIMP. Para el proyecto se consideraron cuatro elementos principales de realidad virtual: inclusión de mundos virtuales, inmersión, retroalimentación, interactividad [7].

- En el proyecto se manejan doce temas, cada uno con su mundo virtual.
- Se trata que el usuario este inmerso en la historia y forme parte de ella, por medio de eventos y tareas a resolver.
- Para la retroalimentación sensorial se trabaja con dos sentidos la vista y el oído.
- Cada acción del usuario tiene retroalimentación, permitiendo jugabilidad en el sistema.

A continuación se describen los doce temas del proyecto:

Tabla 1. Encuesta de conocimientos de la Independencia de México

No.	Pregunta
1	¿En qué año inició la Independencia de México?
2	¿En qué año se considera la consumación de la Independencia de México?
3	¿Uno de los principales motivos para la Independencia de México fue la Invasión de Napoleón Bonaparte (Francia) a España?
4	¿¿Es cierto que existían 3 clases sociales (La casta, los criollos y los mestizos)?
5	¿Ignacio Pérez fue el mensajero de Josefa Ortiz de Domínguez?
6	¿Quién es considerado el Padre de la Patria?
7	¿Dónde se llevó a cabo el grito de Independencia?
8	¿Ignacio Allende era el segundo al mando del cura Miguel Hidalgo?
9	¿Dónde se encuentra la Alhóndiga de Granaditas?
10	¿José María Morelos y Pavón participó en la lucha de Independencia?
11	¿Consideras relevante la creación de un recorrido virtual que relate los sucesos más importantes de la Independencia de México, y que pueda servir como apoyo educativo?

- 1) El primer escenario se desarrolla en la ciudad de Querétaro, Ignacio Pérez recibe por parte de la Corregidora el mensaje del descubrimiento de la conspiración de Independencia.
- 2) El segundo escenario se desarrolla en San Miguel el Grande, Querétaro, Ignacio Pérez deberá entregar el mensaje de la Corregidora, en el cual da aviso del descubrimiento de la conspiración de Independencia.
- 3) El tercer escenario tiene lugar en los pueblos de San Miguel el Grande y Dolores, el Capitán Juan Aldama deberá llegar a Dolores para informarle a Miguel Hidalgo el descubrimiento de la conspiración de Independencia.
- 4) En el cuarto escenario el cura Miguel Hidalgo recorre el pueblo de Dolores hasta llegar a la puerta de la Parroquia para dar el grito y encabezar el movimiento de Independencia.

- 5) En el quinto escenario el cura Miguel Hidalgo deberá llegar a San Miguel el Grande, dónde se reunirá con el Capitán Juan Aldama y su respectivo ejército.
- 6) En el sexto escenario el Capitán Ignacio Allende deberá llegar a la Alhóndiga de Granaditas en la ciudad de Guanajuato, donde se registró una de los movimientos más importantes del movimiento de Independencia.
- 7) En el séptimo escenario se presentan 4 sucesos históricos que son: La derrota por parte del ejército Realista sobre los insurgentes en el puente de Calderón, el nombramiento de José María Morelos y Pavón como lugarteniente de Hidalgo, y el decreto de Abolición de la esclavitud por parte de Miguel Hidalgo y Costilla.
- 8) En el octavo escenario se presenta La victoria de la batalla en Tixtla; Vicente Guerrero, Mariano Matamoros se une a la lucha del movimiento de Independencia; Cuautla es defendida por el imperio Realista; Victoria de Morelos sobre el imperio Realista en Cuautla.
- 9) En el noveno escenario se enfoca en la derrota del imperio Realista sobre los insurgentes y huida de los insurgentes; Se utiliza este escenario para mostrar la regeneración y victoria sobre la toma del puerto de Acapulco por los insurgentes.
- 10) En el décimo escenario se muestra la creación del Congreso de Chilpancingo donde se representan sucesos de gran relevancia como: la lectura de los sentimientos de la nación; el Decreto Oficial de la abolición de la esclavitud; y México es declarado independiente
- 11) En el onceavo escenario se muestra el campo de batalla donde el ejército insurgente cae derrotado por el ejército realista comandado por Ciriaco de Llano e Iturbide. Mariano Matamoros cae prisionero y es fusilado, por lo que Morelos ordena incendiar Acapulco.
- 12) En el último escenario se hace una representación de la huida del congreso de Chilpancingo. Aquí se representan los últimos sucesos de gran relevancia: Morelos es hecho prisionero; Calleja ordena la degradación de Morelos; Finalmente, Morelos es fusilado en San Cristóbal Ecatepec.

En la figura 3 se presentan cuatro personajes incluidos en el proyecto, todos los personajes fueron modelados en 3D.

En la figura 4 se muestra como el cura Miguel Hidalgo recorre el pueblo de Dolores, para llegar a la puerta de la Parroquia para dar el grito y encabezar el movimiento de Independencia.



Figura 3. Personajes Principales



Figura 4. El cura Miguel Hidalgo recorriendo el pueblo de Dolores

### 6.1. Pruebas y Resultados

Se realizó una prueba de usabilidad con los mismos 20 usuarios que ya habían sido entrevistados durante el estudio de factibilidad, el formato que se utilizó para las pruebas fue el siguiente:

- 1) Presentar el proyecto.
- 2) Uso y manipulación del proyecto.
- 3) Responder una encuesta para evaluar el proyecto.
- 4) Responder una encuesta para evaluar el proyecto.

La encuesta se muestra en la tabla 2, mientras que en la figura 5 se muestra los resultados obtenidos, donde

Tabla 2. Encuesta de conocimientos de la Independencia de México

No.	Pregunta
1	Mencione tres personajes con los que jugó
2	Mencione tres fechas de sucesos importantes
3	Mencione tres lugares dónde se llevaron a cabo las acciones
4	¿Considera que el manejo de la información es el adecuado?
5	¿Logró tener una inmersión en el sistema?
6	¿El sistema le pareció agradable?
7	¿Cree que el sistema cumple con el objetivo de tener fines educativos?

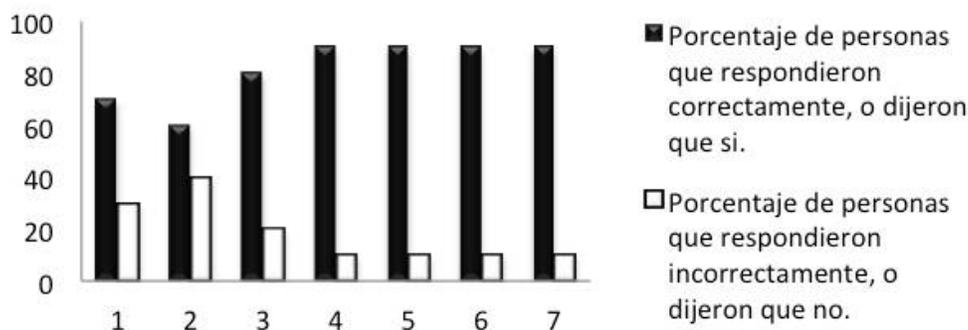


Figura 5. Resultados

se puede observar que la mayoría de los usuarios recordaron personajes, situaciones, escenarios incluidos en el proyecto. Así como un alto número de encuestados considera que la información es adecuada, se logra tener inmersión en la historia, que el proyecto es agradable y cumple con las cualidades para utilizarse con fines educativos

## 7. Conclusiones

La construcción de Mundos Virtuales es una tarea compleja que conlleva a un sinnúmero de actividades, por lo que es necesario utilizar una metodología que le permita al programador desarrollar proyectos enfocados a la Realidad Virtual. En este artículo se presentó una metodología para la construcción de este tipo de proyectos, la cual fue probada mediante un caso de estudio.

Por otro lado, hoy en día es evidente que los métodos de aprendizaje necesitan adaptarse a las nuevas tecnologías para poder cumplir su labor, logrando que las nuevas generaciones disfruten de los contenidos dinámicos e interactivos. Utilizar un sistema de aprendizaje virtual como medio de enseñanza es una excelente forma de transmitir o retroalimentar conocimientos sobre algún tema en específico, siempre y cuando resulte atractivo para el usuario final.

## 8. Agradecimientos

Se agradece al proyecto Desarrollo de Ambientes Virtuales y Software Educativo, así como al proyecto Cuerpos Académicos, Calidad y Productividad para su Internacionalización por el apoyo brindado en este proyecto.

## Referencias

- [1] J. Prats. "Enseñar Historia: Notas para una didáctica renovadora", Junta de Extremadura, Consejería de Educación, Ciencia y Tecnología, 2001, ISBN: 84-613-2001.
- [2] B. Mainer. "El videojuego como material educativo: La Odisea", Revista de Comunicación y Tecnologías Emergentes, Vol. 4, num. 21, 2006, ISSN: 1697-8293, DOI: 10.7195/ri14.
- [3] D. Maniega. "Uso de un videojuego inmersivo 3D para el aprendizaje del español: El caso de Lost in La Mancha", Revista de Comunicación y Tecnologías Emergentes, Vol. 9, num. 2, 2011, ISSN: 1697-8293, DOI: 10.7195/ri14.
- [4] D. Díaz et al. "Cacaxtla y Xochitecatl: una Visita Virtual". Avances en Sistemas Distribuidos e Inteligentes, Universidad Autónoma de Tlaxcala, 2013, ISBN: 978-607-9348-15-1.
- [5] R. Martínez. "Mundos Virtuales educativos para niños", Consultora Estratégica en Innovación Educativa, 2008, <http://es.slideshare.net/ruthm/mundosvirtualeseducativosparanios>
- [6] García B. "Videojuegos: medio de ocio, cultura popular y recurso didáctico para la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas escolares", Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 2009, ISBN: 978-84-693-2856-9.
- [7] M. Mora. "Design of Virtual Environments Using Multi-Screen, 3D Sound and Stereoscopic Systems", Doctoral Thesis, Universidad de las Américas Puebla, 2010.

# Augmented Reality as a Tool for the Development of Mathematical Skills

Beatriz Angélica Toscano de la Torre<sup>a</sup>, Julio Cesar Ponce Gallegos<sup>b</sup>, Carlos Alberto Ochoa Ortiz-Zezzatti<sup>c</sup>, Sara Sandoval Carrillo<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Programa Académico de Informática, Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura “Amado Nervo”, Colonia Los Fresnos, Tepic, Nay., México, 63155.

[angelica.delatorre@uan.edu.mx](mailto:angelica.delatorre@uan.edu.mx)

<sup>b</sup>Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Colonia Ciudad Universitaria, Aguascalientes, Ags., México, 20131.

[jcponce@correo.uaa.mx](mailto:jcponce@correo.uaa.mx)

<sup>c</sup>Instituto de Ciencias Sociales y Administración, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. Heróico Colegio Militar sn., Zona Chamizal, Ciudad Juárez, Chih., México, 32310

[alberto.ochoa@uacj.mx](mailto:alberto.ochoa@uacj.mx)

<sup>d</sup>Facultad de Telemática, Universidad de Colima. Av. Universidad 333, Colonia Las Víboras, Colima, Col., México, 28040.

[sary@ucol.mx](mailto:sary@ucol.mx)

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Abstract

Presently the incorporation of Information Technology and Communications to improve the process of teaching and learning is an issue of global interest. This paper shows how the augmented reality can be used as a tool to support the development of student skills in the mathematics area. In this sense, students' learning problems are shown, as well as the state of the art in augmented reality and the development of an activity in order to implement the augmented reality in the topic of sets. Such activity was developed in a mathematics course with some students of information systems at the Nayarit University. Finally, results and conclusions are shown.

**Keywords:** Augmented Reality, Mathematics, Basic Skills, Learning Styles

---

## 1. Introduction

Given the rapid changes in the contemporary world, training professionals with specific skills has emerged as a new challenge for the educational institutions. These skills need to enable professionals to not only address the current environment, but also transform it. Likewise, the type of skills used in the educational environment is closely linked to the “know-how-to-do” competence. It is the power to develop

actions in a broad sense [1].

Although there is no single definition of the term “competence”, in this document we will adopt the reference of the project on competences in the context of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) called DeSeCo which classifies competences into three categories: use tools interactively (language, information technology, etc.); interact in heterogeneous groups; and act autonomously. All these categories are interrelated to form the basis for identifying and mapping

key or basic competences that an individual must have for professional growth and employment throughout life [2].

There has been great interest on the part of companies and world economy on the competitiveness of individuals and this has contributed to implement various types of assessment programs in order to measure the competences. One of these programs has been implemented by the OECD for the Evaluation International Student Assessment (PISA). The main objective of this program is to monitor the development of these competences at the end of the compulsory schooling.

Regarding math competences, PISA considers as mathematical literacy: the ability to analyze, reason and communicate effectively as well as to solve and interpret mathematical problems in a variety of situations involving quantitative, spatial, mathematical concepts of probability, or other [2].

According to the results in the implementation of PISA 2009, the development of these competences in Mexico is not very encouraging. This country was in level 1 in that year with regard to math competence. In the period between the implementation of PISA 2003 and PISA 2012, mathematics achievement in enrollment of 15 year-old students in formal education, improved by 28 points (385 points in 2003 to 413 points in 2012). However, the percentage of students with low performance remains greater than 50% and it showed an increase from 2009 to 2013 by nearly 5% (50.8% in 2009, 55% in 2013) [3].

### 1.1. Characterization of the problem

According to these data, teaching and learning in this area of knowledge, has become a priority for researchers who participate. Therefore, it is important to find the strategies and/or educational resources that lead to the production of mathematical competence. This is especially true because of the importance it holds for the development of analysis, reasoning and problem solving skills that impact on the development and application of this reasoning in several problems in the individual's ordinary life and consequently in the society.

Higher education in Nayarit is not exempt from this problem, thus, the Autonomous University of Nayarit (Universidad Autonoma de Nayarit, UAN) as part Institutions of Higher Education of the State, has taken through different actions and instances, responsibility for solution. Some of these have been implemented by the Academy of Interdisciplinary Quantitative Methods (QMA) of Computer Science (CSP), and Economics Programs (EP), members of the collegial body have conducted research

to identify the triggering factors of poor performance, as this provides, from their perspective, elements that result in improved student-teacher relationship. And at the same time, these results verify the conditions of the problem of learning mathematics that students have from previous educational levels [4].

Under this premise the Academy has developed some strategies in order to find solutions. However, such efforts have been isolated and unplanned, which somehow have assisted, but they have not had a significant impact on the academic performance of students in this area. This is evident as there is a high level of students' academic disapproval in mathematics. According to data obtained from the Student Administration System at the UAN, in 2013 a cumulative total of 15 courses in the area of learning quantitative methods, with an average of 46 students per course were offered. From this amount, 44% students failed the subject at the end of the term.

Given the above, the QMA has reassessed a comprehensive strategy to ensure that students achieve mathematical competence, being one of the core considerations related to OECD as stem competences to be developed by students. These need to be well-equipped with the tools and skills (language, information technology, etc.) which can be used in the application of integrated methodologies.

Among the technological tools needed is the use of technological devices to use virtual information to add to the physical information, called Augmented Reality (AR). Thus the reason why it is being developed the project called "Augmented Reality Strategy to Improve Performance Students in the Area of Mathematics", which aims at improving students' academic performance by taking subjects as Mathematics through the development of learning objects with AR.

### 2. Augmented Reality in an Alternative Education

Nowadays augmented reality is one of the most dynamic fields in the technology area, and general computing research. But what is Augmented Reality (AR)? Ronald Azuma [5], defines it as an environment that includes elements of virtual reality and real world elements. An AR system is one that combines real world and virtual world as interacting with real time and recorded in three dimensions. As opposed to Virtual Reality, AR allows the user to view the real world with overlapping or compounds with the real world virtual objects. Therefore reality complements RA rather than completely replacing it.

In order to work an AR system intervention, it is necessary some elements such as: display devices; devices

for the acquisition and processing of data, interface and user interaction. The latter defines the type of augmented reality. There are also different programs and applications that create AR [6].

Given the enormous potential of applications, AR becomes an alternative in education. This overcomes the difficulty of simulating situations and experiences that are not possible in real life situations, which leads to a more intuitive and interactive learning. However, in order to realize the potential of this learning tool, the implementation has to accompany other pedagogical issues, students' learning styles, and curriculum adaptation, to name some.

## 2.1. Augmented Reality as a Tool for the Development of Mathematical Competences

In many fields of training, it is necessary for students to visualize objects in different orientations, spaces and contexts, working with models of two or three dimensions and interactive images. Such is the study of Mathematics. Thus, researchers from different institutions at national and international level [7], [8], [9], [10], [11], [12], have been working with the use of this tool.

According to such literature review, research shows that AR can nurture the educational process by using items more creative, dynamic, interactive and three-dimensional learning, which allow strengthening intrinsic elements to educational practice, as the understanding of learning and motivation learning. Research shows that AR is a tool that allows the student grasps significant learning.

This research group has conducted the study presented as inquiry line developed by other research groups in other contexts. The main objective is to measure the learning opportunity offered by the AR as a support tool in the teaching and learning of Mathematics for Undergraduate students at the School of Economics at the Autonomous University of Nayarit.

Under the premise that the objective of this research is to improve academic performance in the area of mathematics, and based on the students' academic disapproval (44%), research was conducted as a longitudinal study. This was in order to examine specific cohorts. Thus, the first approach of using the tool in AR will consider the subject called "Logic and Sets". This subject is part of the quantitative methods at the Academic Computing Program, Curriculum 2012 for the cohorts 2013. The topic chosen for the development of models to use in AR was "Set Operations".

Once defined the class cohort, the subject, and the educational program, the initial selection of typology, soft-

ware, and applications of AR were carried out. This was in order to use such tools based on an analysis of the programs and applications that allow the development of AR. Similarly, some benefits and requirements in its use were identified, some of which were as follows: AR-ToolKit, Buildar PRO, ATOMIC, Sketchup, Artag, Plug-in for SketchUp Ar-media, ArSpot, OSGART, FLARToolKit and Aumentaty Author.

Once the analysis was performed, and given the purpose of this stage of the project, it was decided to work with the type of AR by using markers to utilize the software called Aumentaty Author, as a tool that has a friendly interface for those who are not developers.

This is because augmented reality models were designed with the software Blender 2.66a in its free version, also because such models offer a more friendly-use program that allows conceptualizing and modeling pictures of an intuitive and flexible way. In this case models were designed to represent the basic operations on sets and markers associated with pre-designed Aumentaty Author. Moreover, mockups were designed and printed in order to represent the scenario of joint operations and thus give the explanation of a practical case (as seen in Figure 1).

In order to accomplish this experiment, a group of 18 students (10 men and 8 women aged 18 to 22 years) participated. They were from first year Computer AP, enrolled in the subject "Logic and Sets". Before starting the experimental phase, and with the purpose of evaluating its feasibility, participants completed a diagnostic tool which main objective was to gather information from students of the following variables: 1. Possible causes of the weaknesses in learning the topics covered in the subject; Two. Teaching resources that provide students with a better understanding and 3. Learning styles. The questionnaire to validate the variable 1 and 2 was built in accordance with the proposed research, obtaining the following result:

Variable 1. According to the students' perception, it was found that the three main causes of the weaknesses of learning the topics covered in the class are: poor teacher's performance in the subject, lack of clarity in the explanations and unrealistic cases used in class.

Variable 2. A conclusive assessment of the group of students through a Likert scale as can be seen in Table 1 and 2. According to what is shown in Table 1, it can be observed that the student considers that exercises done on the white board allows you to have a better understanding of the subject. In addition, the students considers important for the teacher to provide a thematic guide, as well as the use of clear and practical examples. This latter aspect was found as the most common factor



Figure 1a. 3D model design, by modifying a clip in Blender.

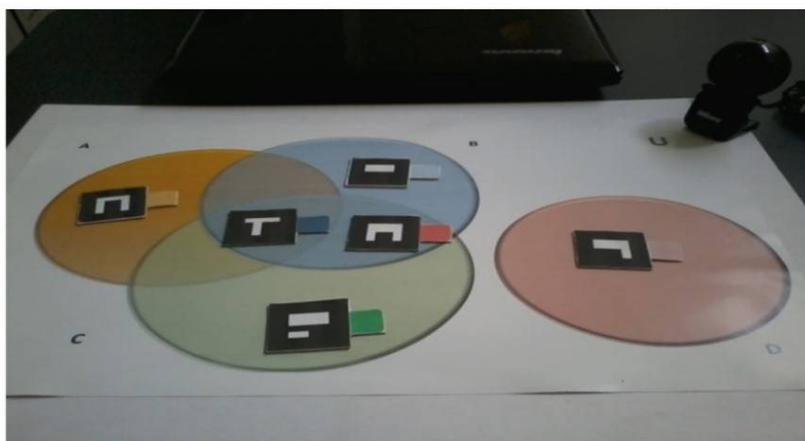


Figure 1b. Designing the scenery to show the Augmented Reality.

Figure 1. Development of Models RA, Stage and Markers using Blender 2.66 and Aumentaty Author.

in the order of utility values. For the case presented in Table 2, according to the results, respondents focus their priority on the first scale values in importance to the fact that the teacher should be creative and innovative in the classroom. For students it is important to use graphics and images in order to better understand examples.

**Variable 3.** According to Pulgar Burgos [13], learning is largely determined by perceptual means by which it receives information; assimilate information efficiency increases as the perception of some senses dominates over the other. Thus, it is assumed that if the teacher is able to know what the predominant channel of the student is, you can then assess whether the teaching is effective or not and, therefore, establish effective teaching-learning strategies. Starting from this assumption, a quick test was applied according to the VAK model which was applied in person with a brief explanation and a period of approximately 15 minutes to submit it.

Table 3 shows the results in terms of learning styles,

Table 1. Students' Deliberation of Utility Regarding the use of Teaching Resources to allow Deep Understanding Issues in the subject Logic and Sets.

Student's opinion/Resources	First Place	2nd Place	3rd Place	4th Place	5th Place
Using interactive images	0	2	2	1	1
Use technology tools for explanations	1	1	3	0	2
Topic Guide	2	2	3	2	1
Readings	1	1	1	2	3
Noting down exercises on the white board	7	4	2	2	0
Motivating presentations	0	2	2	2	7
Clear and practical examples	5	3	2	4	0
Audios with the explanation of e/o of the issues	1	1	0	1	1

Table 2. Important reasons that allow students' better understanding (students' perception).

Student/Resource	First Place	2nd Place	3rd Place	4th Place	5th Place
The teacher is creative and innovative in their classes	8	4	2	0	1
Students experience and manipulate	1	2	3	1	3
Student listen and share	1	2	4	8	1
Students sense and explore	0	0	0	1	2
Students reflect and think	0	6	1	2	4
Students make collaborative work	1	2	3	0	2
Students write dictations	1	0	0	2	1
Students puts into practice realistic examples	5	1	4	1	1

Table 3. Learning styles of students enrolled in the UA Logic and Sets, Generation 2013 semester January to June 2014.

Learning Style	Number of students	%With total relational
Visual	10	56%
Auditive	5	28%
Kinesthetic	0	0%
Visual-Auditive	1	5%
Visual-Kinesthetic	2	11%

it is observed that the visual style is the profile in which students represent more than 56% which indicates that more than half of the group recalls more information that is presented by using abstract and concrete images. It is also reported that 11% are visual-kinesthetic students who possess greater retention of information through images, thus, they have to interact with these and manipulate, and while the auditory students reached second place only 28% of students in the group are more reminiscent of spoken information.

Given these results, one possibility can be seen in the use of AR as a tool for learning. In order to carry out the experience with the use of the AR tool, an activity was implemented in the classroom in which students had to solve a practical case on which they were supposed to apply set operations. At this point, it is important to point out that the group of students had already taken the theory class with their professor, and had answered all exercises without the help of the AR.

At the beginning of the experiment students were

given a sheet with the instructions of the practical case. They were also given ten minutes to solve the exercises by using prior knowledge but without the use of AR. It was found that students had difficulty solving the case study, the instructor (researcher) then proceeded to give advice by using the AR tool (See Figure 2). This experience allowed the researchers to assess the student's attitude when trying to find the solution of the case with the support of the AR tool.

### 3. Conclusions and Future Work

Given the objective of the research, data collection allowed us to accomplish those. In the same way, it was possible to build interest and satisfaction indicators through the students who took part in the piloting phase.

The collective opinion was focused on emphasizing the use AR tool as a dynamic, motivating and entertaining class. This is because such tool allowed them to understand better and they could have a visual perception of the problem to solve.

The survey showed that students see the AR as a tool that allows them to interact with the study matter. They also reported that that they would like the teachers to implement it in their classes, since it makes them more intuitive and easy to understand. 89% reported that the lesson taught with AR was better understood as compared to not utilizing AR in the classroom.

It is concluded that within the advantages of using AR in mathematics, which allows students to highlight possible solutions to identify problems and grasp knowledge, AR helps to interact with objects. This allows students to strengthen their capacity for abstraction.

On the other hand it is important to point out that the use of this technology in the classroom is not as easy as teachers cannot bring their ideas into something tangible. It is therefore necessary for the teachers to be able to design, simulate, animate, identify, and the like, elements of augmented reality. However, if the institution has the opportunity to rely on skillful teachers this can be of great support to improve teaching and learning.

As future work for this project it is necessary to plan and develop the curriculum at the QMA by working more extensively on anthologies that contain practical cases with markers by using AR.

**Acknowledgements.** Our gratitude to Dr. Antonio Saldaña Salazar, who is contributed in the translation of this document and the Lic. Ramón Valle Betancourt, who is a grant recipient and contributed to this research in the section of literature review.



Figure 2. Scenarios with Experimental Phase Using Augmented Reality Tool.

**References**

[1] A. Escamilla González, Las Competencias Básicas. Claves y Propuesta para su Desarrollo en los Centros, España: GRAO, de IRIF, S.L., 2008.

[2] OCDE, “DeSeCo. Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations”, 11 abril 2014. [Online]. Available: [www.deseco.admin.ch](http://www.deseco.admin.ch).

[3] S. d. E. Pública, “Hacia PISA 2012 México,” 8 julio 2013. [Online]. Available: [www.pisa.sep.gob.mx/index.html](http://www.pisa.sep.gob.mx/index.html).

[4] J. R. Olivo Estrada, A. Benítez Hernández and E. López Estrada, “Práctica Docente y Aprendizaje de la Matemática en Economía: La Percepción del Alumno,”. in *Memoria del XXI Coloquio Mexicano de Economía Matemática y Econometría*.

*Edición electrónica*, Tepic, 2012.

[5] R. T. Azuma, “Ronald T. Azuma, Ph. D.,”. 11 abril 1997. [Online]. Available: [www.ronaldazuma.com/publications.html](http://www.ronaldazuma.com/publications.html).

[6] B. A. Toscano de la Torre, J. C. Ponce Gallegos and M. F. Camacho González “La Realidad Aumentada una Estrategia para Mejorar el Rendimiento de los Estudiantes en el Área de Matemáticas,” in Libro Electrónico “*Memorias del XXVI Congreso Nacional y XII Congreso Internacional de Informática y Computación*,” Ixtlahuaca, Estado de México, 2013.

[7] E. Rivera Caspa, L. B. Quispe De la Cruz and C. A. Montalvo Yarnold, *Realidad Aumentada e Inteligencias Múltiples en el Aprendizaje de Matemáticas. Versión Final (Tercera Etapa)*, Universidad Nacional de Ingeniería, 2011.

[8] P. Esteban, J. Restrepo, Trefftz, J. Jaramillo and N. Álvarez,

- “La Realidad Aumentada: un Espacio para la Comprensión de Conceptos del Cálculo en Varias Variables,” in *XVI Simposio Iberoamericano de Enseñanza Matemática*, “*Matemáticas para el Siglo XXI*” (Vol. 21), Castellón, España, 2004.
- [9] C. Cortés Zavala and E. Díaz Barriga Arceo, “Enseñar la Demostración en Geometría vs Enseñar la Demostración en Geometría,” *Innovaciones Educativas. Tecnología para la Enseñanza de las Matemáticas y las Ciencias. education.ti.com*, pp. 15-19, 2001.
- [10] R. Guzmán, “Sistema de realidad aumentada para apoyar la enseñanza de sólidos básicos en cálculo vectorial,” *Revista De La Red Colombiana De Programas De Ingeniería De Sistemas Y Afines*, pp. 127-135., 2011.
- [11] V. J. Morquecho Calle, *Laboratorio experimental con tecnología de realidad aumentada para la transición del trazado de elementos en el plano de dos dimensiones a la abstracción tridimensional en el aprendizaje de álgebra lineal*, Cuenca: Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca, 2014.
- [12] P. V. Esteban Duarte, H. Trefftz Gomez and J. Restrepo Toro, “Estrategias de Visualización en el Cálculo de Varias Variables,” *Revista Educación y Pedagogía*, pp. 119-131, Vol. XVIII, núm. 45, ao 2006.
- [13] J. L. Pulgar Burgos, *Evaluación del Aprendizaje en Educación no Formal. Recursos Prácticos para el Profesorado*, Madrid, España: Narcea, S.A. De Ediciones, 2005.

# Uso de la Tecnología como Apoyo a la Discapacidad Visual

Elvia Aispuro, Jaime Suárez, Javier Aguilar, Marcelo Ruiz, Aurora Ruiz, Javier Rodríguez

Universidad Autónoma de Baja California Sur

Carretera al Sur, KM 5.5, Col. El Mezquitito, La Paz, BCS, México, 23080.

{aispuro, jsuarez, jaguilar}@uabcs.mx, pulze9@gmail.com, rorrizz8@hotmail.com, jaro\_222@hotmail.com

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

El presente artículo presenta el desarrollo de un prototipo de impresora Braille de bajo coste como una solución económica que permita a las personas con discapacidad visual; así como débiles visuales, contar con una muy útil herramienta para el acceso a la información escrita que coadyuven en su desarrollo personal; un entorno accesible, favorece la autonomía personal y la participación en la vida cívica para incorporarse a los servicios de educación y de salud, así como al mercado de trabajo.

*Palabras clave:* Discapacidad visual, Impresora Braille, Editor de textos, Software.

---

## 1. Introducción

**H**oy en día, impulsados a favor de un mundo inclusivo, el cual promueve los derechos humanos y mejora las condiciones de las personas con discapacidad, se ha necesitado la formulación de políticas y programas innovadores como apoyo a las personas de este sector. Sin embargo, los recursos asignados a poner en práctica políticas y planes son a menudo insuficientes. En muchos países de ingresos bajos y medianos, los gobiernos nacionales no pueden proporcionar servicios adecuados, y los proveedores comerciales de servicios no están disponibles o no son financieramente accesibles para la mayoría de las familias [1].

Considerando lo anterior, y en pro de participar en actividades que mejoren la calidad de vida de las personas con discapacidad, donde todos podamos vivir una vida de salud, comodidad y dignidad, se ha desarrollado

un prototipo de impresora Braille de bajo coste que propone una solución económica que permita proporcionar a las personas con discapacidad visual, así como débiles visuales, una muy útil herramienta para el acceso a la información escrita que ayude en su educación y desarrollo personal.

## 2. La discapacidad visual

La vista, es el sentido que permite percibir sensaciones luminosas y captar el tamaño, la forma y el color de los objetos, así como la distancia a la que se encuentran. Las dificultades para ver implican una extensa gama de posibilidades relacionadas con las funciones ópticas en general: la agudeza y campo visual, la percepción del color y los contrastes, entre otras. Las limitaciones en la realización de actividades cotidianas que enfrentan las

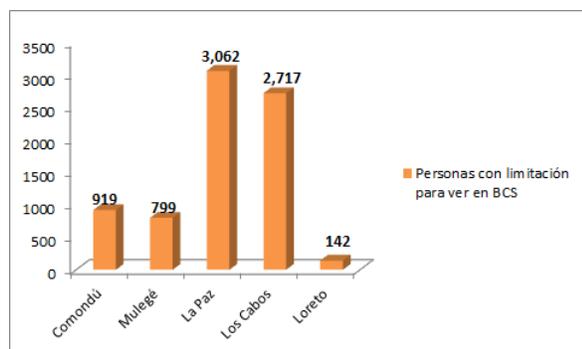


Figura 1. Población con limitación para ver en BCS [3].

personas con dificultades para ver, están estrechamente relacionadas con la forma en la que está organizado el entorno construido, ya que un entorno accesible favorece la autonomía personal y la participación en la vida cívica, y es esencial para incorporarse a los servicios de educación y de salud, así como al mercado de trabajo, mientras que uno inaccesible introduce barreras que limitan tanto la participación como la inclusión social de los individuos [2].

En México, según el censo de Población y Vivienda 2010, por cada 100 personas con discapacidad, 27 declararon tener dificultades para ver, aun usando lentes, lo cual representa alrededor de 1.6 millones de individuos. Número solo superado por quienes tienen limitaciones de movilidad; es decir las limitaciones visuales ocupan el segundo lugar en el país [2].

### 2.1. La discapacidad de la vista en BCS

En Baja California Sur, de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, se cuenta con una población de 637,026 personas a lo largo de todo el estado. Las personas con discapacidad para ver, incluso usando lentes, se tiene un registro de 7,639 personas, con un porcentaje del 1.20 % del total de su población, la mayor concentración lo ocupa el municipio de la Paz con un total de 3,062 personas, seguido de los cabos con 2,717, en tercer lugar el municipio de Comondú con 919, Mulegé 799 personas y por último el municipio de Loreto con 142 personas. Ver figura 1 [3].

### 2.2. Centro de atención ciudadana a personas ciegas o débiles visuales en la ciudad de la Paz

Sobre los centros de atención y ayuda ciudadana especializados para atender este sector de la población, el estado cuenta con un número muy reducido de centros de ayuda. Además, las condiciones de tecnología e infraestructura y de equipamiento son prácticamente

nulas. Para el caso particular de contar con infraestructura que permita tener acceso a información escrita, el número de impresoras Braille que se encontraron son de una sola impresora en funcionamiento en el Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial, CECATI, No. 39, otra más en el DIF, colonia Calandrio, sin embargo, este último fuera de servicio; ambas impresoras ubicadas dentro de la ciudad de la Paz, lugar donde se llevó a cabo dicho estudio particular.

Se encontró por otro lado, la asociación civil para personas ciegas y débiles visuales de la ciudad de la Paz, la cual se dedica promover la formación y capacitación de individuos en diferentes labores; tanto artesanales como de apoyo en su educación y desarrollo personal, sin embargo, la asociación no cuenta con impresoras braille que aporte a este tipo de desarrollos. Los agrimiados, mencionan en las entrevistas realizadas que para tener acceso a texto impreso, tienen que recurrir al centro CECATI No. 39 (antes mencionado) para satisfacer esta necesidad.

### 3. La tecnología como apoyo al desarrollo de un prototipo de Impresora Braille

La tecnología promueve un rol importante en la vida de toda persona, más aún, en personas invidentes, el contar con dispositivos que les permitan tener acceso a la información escrita, como un recurso importante para su desempeño, que coadyuven en su educación y desarrollo personal, resulta de gran relevancia.

Con esto en mente, se ha construido un prototipo de impresora de bajo costo el cual pretende sea accesible y beneficie a este sector de la población. Con este prototipo, las personas con discapacidad visual así como débiles visuales, tienen la oportunidad de crear e imprimir sus propios documentos sin la dependencia absoluta de una persona auxiliar, así como, la complejidad de trasladarse de su hogar a un lugar remoto, evitando los conflictos que esto implica, promoviendo con esto, individuos capaces de tener acceso a la información escrita, como un recurso importante para su desempeño, que ayude en su educación y desarrollo personal.

#### 3.1. Estructura electromecánica

La parte electromecánica de la impresora braille está compuesta por dos Motores a pasos bipolares, tres circuitos integrados L293b, una placa de desarrollo modelo Arduino Uno, un solenoide de 5V y un rodillo. Como lo muestra la figura 2, el circuito está controlado por la tarjeta Arduino, tiene la función de comunicación con la computadora para poder enviar las señales necesarias

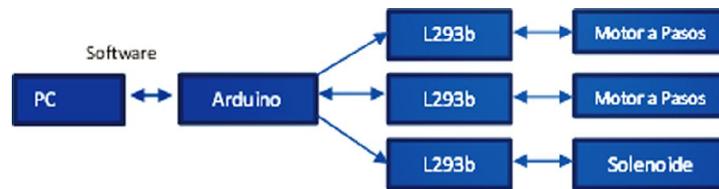


Figura 2. Diseño de componentes electromecánicos de la impresora Braille.

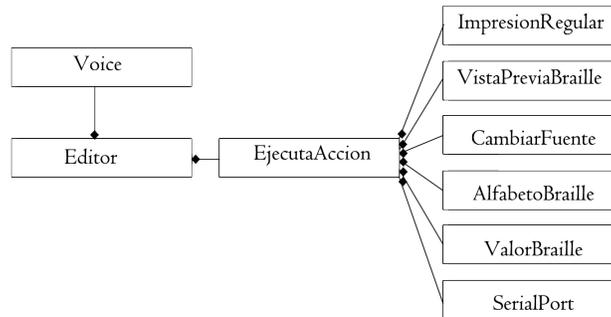


Figura 3. Diagrama de las principales clases del software de la impresora Braille.

para controlar los motores y un solenoide. Se utilizan circuitos integrados L293b para facilitar el control de los dispositivos electromecánicos y realizar las diferentes impresiones de los caracteres braille.

Uno de los motores a pasos está conectado a un rodillo que permiten desplazar la hoja a través de la impresora, mientras que el segundo motor desplaza el solenoide hacia los lados utilizando una banda, este solenoide tiene la función de percutor que permite hacer el relieve del sistema braille, una vez alimentado el solenoide este baja para generar la presión suficiente para realizar la impresión. La placa Arduino recibe de manera serial un entero del 0 al 2, que permite en respuesta a estos números decidir qué acciones tomar: 0 permite desplazar una posición al solenoide, 1 permite realizar una marca de relieve en la hoja y desplazar una posición al solenoide, 2 permite regresar el solenoide a la posición inicial y desplazar la hoja una posición hacia adelante.

### 3.2. Estructura del software

El software controlador de la impresora consta de un sistema integral de edición e impresión en braille, se ha desarrollado en el Lenguaje Java, brindando las ventajas del software libre. Se trata básicamente de un editor de textos, que permite la creación de documentos nuevos o la apertura de documentos ya existentes para su impresión en braille. Presenta las opciones básicas de un editor de textos, sin embargo, cuenta también con un sintetizador de voz que permite la retroalimentación al usuario, ya que reproduce cada palabra que se escribe una vez que se pulsa la barra espaciadora, cuenta

también con vista previa en formato braille; opción adicional para personas que puedan auxiliar en esta tarea a una persona invidente. Finalmente el software permite la comunicación con el prototipo de impresora braille a través del puerto USB con el fin de realizar el proceso de impresión y obtener el resultado esperado.

El software del prototipo está formado por un marco de clases el cual contiene un conjunto de siete clases distintas:

- Editor,
- ImpresionRegular,
- CambiarFuente,
- VistaPreviaBraille,
- EjecutaAccion,
- ValorBraille y AlfabetoBraille.

La clase Editor, tiene las funciones de un editor de textos básico y cuenta con recursos para la reproducción del audio, particularmente se utilizó el paquete de clases `com.sun.speech.freetts.audio`, por otro lado, la clase `ImpresionRegular`, hace posible la impresión del documento actual en modo tradicional, lanzando una ventana de diálogo donde se puede escoger cualquier impresora instalada en la computadora.

La clase `CambiarFuente`, a su vez, permite cambiar las características de originales de la fuente, la clase `VistaPreviaBraille`, lanza una ventana de dialogo mostrando el texto del documento actual en formato braille, la clase `EjecutaAccion`, es la que hace posible

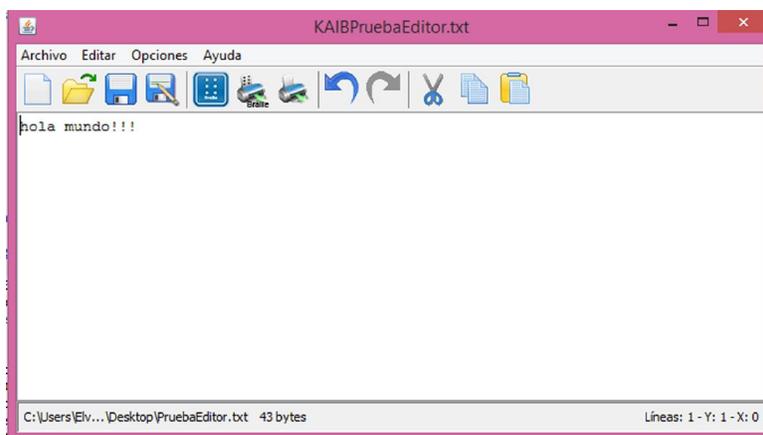


Figura 4. Editor de textos para el desarrollo de documentos e impresión en braille.

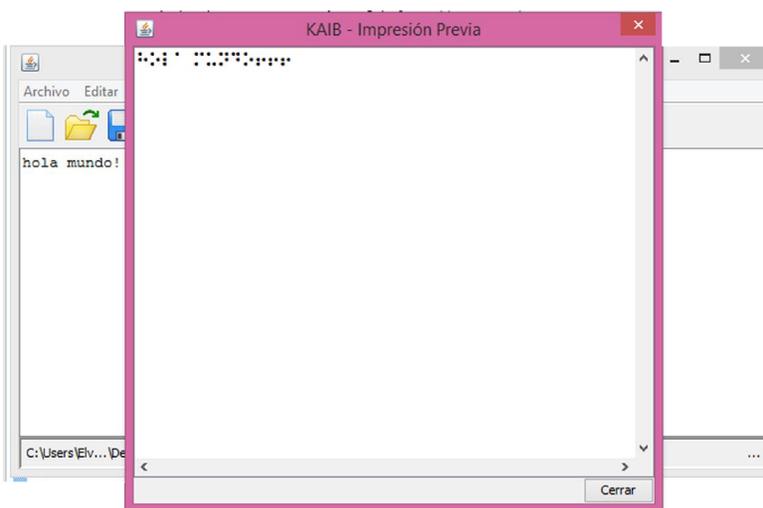


Figura 5. Vista previa del documento en braille.

la ejecución de todas y cada una de las diferentes opciones que se pueden realizar en el editor, ya sean del tipo regular hasta incluir las funciones especiales como la impresión en formato braille, además de contar con el paquete de clases que hace posible la comunicación serial con la impresora, en este caso se utilizó la librería *jssc*, *ValorBraille* consta de un arreglo de tres por dos, donde cada elemento del arreglo puede contener uno o cero, para representar una letra del alfabeto en braille, por último, la clase *AlfabetoBraille*, consta de un arreglo de la clase *ValorBraille* de 46 elementos, donde cada uno de ellos representa las letras del alfabeto, así como algunos símbolos especiales. La figura 3 muestra un diagrama con las principales clases del software para crear e imprimir documentos a través del prototipo de impresora braille.

Como se menciona anteriormente, el software consta básicamente de un editor de textos, tal como se puede apreciar en la figura 4, en esta figura, se pueden

observar los iconos de la barra de menú, donde se encuentran algunas de las opciones básicas del editor así como las específicas para el tratado de la impresión en formato braille. La figura 5 muestra la ventana de diálogo que hace posible la vista previa en formato braille del documento actual.

### 3.3. Un recorrido rápido por el prototipo de impresora braille

La impresora consta de un rodillo que se encarga del desplazamiento de la hoja; en principio, se encarga de ubicarla en posición de inicio, lista para empezar con el proceso de impresión, en secuencia; el rodillo gira para desplazar la hoja por cada renglón que se vaya imprimiendo y por último, éste gira para desplazar la hoja fuera del lugar de impresión para que pueda ser retirada fácilmente de la impresora, lista para su lectura. La figura 6 muestra el rodillo que hace posible el movimiento de la hoja.

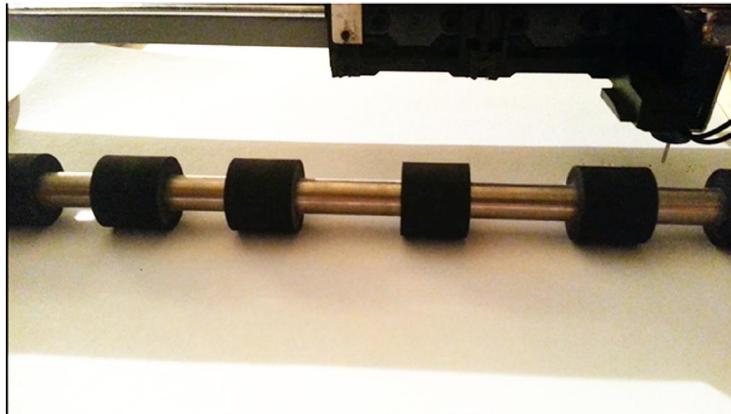


Figura 6. Rodillo de la impresora.

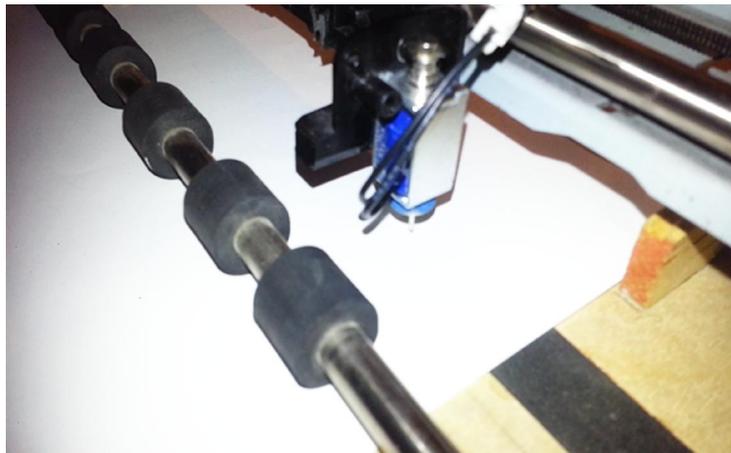


Figura 7. Solenoide de la impresora.

En las figuras 7 y 8 se puede apreciar el solenoide de color azul, éste es desplazado por el riel a lo ancho de la hoja para ser activado cuando se requiera realizar una perforación.

Como resultado del proceso de impresión realizado por el prototipo de impresora, se obtiene el texto braille, tal como lo muestra la figura 9.

### 3.4. Los Costos

Uno de los principales problemas para la adquisición de impresoras braille, son los costos tan elevados que mantienen estos dispositivos en el mercado, lo que imposibilita el acceso a este tipo de recursos para este sector de la comunidad. Algunos de los precios de una impresora braille de características básicas oscilan entre los \$30,000.00 y \$60,000.00 pesos en México, la tabla 1 muestra las imágenes de algunos modelos comerciales de impresas y sus precios.

Por otro lado, para el desarrollo del prototipo, se utilizó la siguiente lista de materiales y sus respectivos costos, tal como lo muestra la tabla 2.

Tabla 1. Impresoras más comerciales en el país

	BASIC-D	\$40,300.00
	BASIC-D	\$40,300.00

Tabla 2. Material utilizado para el desarrollo del prototipo de impresora

MATERIAL	COSTO
Una tarjeta Arduino Uno	\$420.00
3 L293b	\$120.00
Un Par acoplador 6 mm	\$120.00
Dos Motores a pasos 12v	\$620.00
Un Solenoide 5v	\$90.00
Resistencias, alambre, capacitores	\$50.00
Madera	\$120.00
<b>TOTAL \$1540</b>	

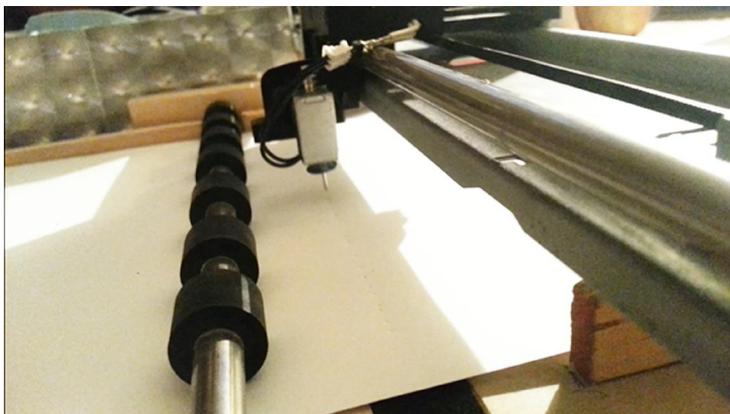


Figura 8. Riel que desplaza el solenoide.



Figura 9. Impresión en braille, realizado por el prototipo de impresora.



Figura 10. Uso del prototipo de impresora braille por asociación civil para personas ciegas y débiles visuales de la ciudad de la Paz.

Además de la lista anterior también se utilizaron materiales reciclados como un rodillo de impresora, un carril de impresora y una fuente de poder de PC.

Como se puede observar los precios entre los dispositivos comerciales y el prototipo realizado distan considerablemente, lo que hace a este último una buena

alternativa a considerar para la impresión de textos en braille.

#### 4. Resultados e investigaciones futuras

Como se menciona en el apartado anterior, una de las principales ventajas del prototipo de impresora es que se trata de un dispositivo de bajo costo que puede dar solución a personas invidentes o débiles visuales como una alternativa a las costosas impresoras braille permitiendo acceder al equipo de forma mucho más económica, por otro lado, el software complementario para su uso adecuado está disponible de forma libre.

Cabe mencionar que el prototipo de impresora braille se ha utilizado por la asociación civil para personas ciegas y débiles visuales de la ciudad de la Paz, con gran satisfacción y aceptación por el producto. De manera particular, este grupo de personas participó de forma colaborativa en el proceso de construcción del prototipo, aportando ideas y probando el resultado, hasta llevarlo a un nivel de calidad aceptable, la figura 10 muestra algunas personas de esta asociación, haciendo uso del prototipo de impresora braille.

Como se menciona a lo largo de este capítulo, el desarrollo de esta impresora es una versión prototipo, la segunda fase en este proyecto que considera mejoras físicas, específicamente en cuanto al material a utilizar para el chasis, así como su estructura, permitiendo un modelo con mayor robustez, que garantice la funcionalidad de la impresora por un periodo de vida aceptable, con esto, se espera además, promover un programa de reproducción a mediana escala, el cual permita satisfacer las necesidades particulares para un importante sector de esta población en el estado de BCS.

#### Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud, (2011), Informe mundial sobre la discapacidad, [http://www.who.int/disabilities/world\\_report/2011/es/](http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/)
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2010), Las personas con discapacidad en México: una visión al 2010, <http://es.scribd.com/doc/209927534/estadisticas-inegi>
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2010), Consulta en banco de datos, <http://www.inegi.org.mx/default.aspx>

# Reconocimiento de Sonidos Ambientales usando Espectro Beat y Parámetros Estadísticos

Francisco Mondragón de la Luz, Sandra Espinosa Grajeda, Mariko Nakano Miyatake, Héctor Pérez Meana

ESIME Culhuacan, Instituto Politécnico Nacional.

Av. Santa Ana 1000, Col. San Francisco Culhuacan, México, D. F., México, 04430.

[fmondragon1200@alumno.ipn.mx](mailto:fmondragon1200@alumno.ipn.mx), [saeg33@gmail.com](mailto:saeg33@gmail.com), {[mmakano](mailto:mmakano@ipn.mx), [hmperez](mailto:hmperez@ipn.mx)}@ipn.mx

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

El rápido desarrollo de las ciencias forenses en las últimas décadas ha dado como resultado la aparición de diversos métodos que permiten el análisis de grabaciones de audio que puede aportar importantes indicios en ciertas investigaciones judiciales, las cuales tradicionalmente se han concentrado en grabaciones de señales de voz. Debido a esto en años recientes ha recibido mucha atención el problema del reconocimiento de sonidos ambientales (ESR) ya que puede contribuir en el desarrollo de las investigaciones judiciales facilitando la recreación de los hechos. En este artículo se presenta un algoritmo para el reconocimiento de ruidos ambientales, empleando diferentes características tanto temporales como una modificación del “espectro beat” el cual permite obtener la periodicidad de la señal en diferentes bandas de la frecuencia. Una vez caracterizadas las señales de audio, los parámetros extraídos se insertan en el clasificador de Batchelor y Wilkins para tomar una decisión. El esquema desarrollado se evaluó utilizando diversos sonidos obteniéndose porcentajes de reconocimiento de superiores al 90 %.

*Palabras clave:* Espectro beat, reconocimiento de sonidos, Batchelor y Wilkins.

---

## 1. Introducción

La capacidad para grabar y almacenar señales de audio se ha incrementado de manera importante en los últimos años gracias al desarrollo de los teléfonos celulares y otros dispositivos de comunicación móviles, las cuales cuentan con grabadoras de audio y video de alta calidad. Esto incrementa la probabilidad de que las autoridades obtengan grabaciones de algún ilícito, ya sea realizada por las víctimas del delito o por

terceras personas [1]. Estas grabaciones podrían revelar las conversaciones mantenidas con los delincuentes o dar un indicio del lugar en donde fue cometido el ilícito a partir de un análisis del ruido de fondo. En estas aplicaciones el desarrollo de esquemas que permitan identificar tanto a las personas involucradas como los sonidos ambientales presentes en los lugares donde se lleva a cabo un ilícito puede ser de gran importancia [2]. En lo que se refiere al reconocimiento de personas por medio del habla, se han desarrollado durante las últimas

décadas una amplia variedad de algoritmos; mientras que el interés en el desarrollo de algoritmos para el reconocimiento de sonidos ambientales (ESR), por sus siglas en inglés, se ha incrementado durante las últimas dos décadas debido a sus potenciales aplicaciones.

Los sistemas ESR, además de sus potenciales aplicaciones en la investigación criminalística han mostrado ser de utilidad en otros campos del quehacer humano tales como: la búsqueda eficiente de señales de audio en aplicaciones de etiquetado automático de archivos de audio, basado en descriptores, para la recuperación de archivos de audio [3, 4]. Aplicaciones de navegación robótica la puede ser mejorada con la incorporación de esquemas de ESR [5, 6]. El ESR puede ser también empleado en el monitoreo remoto de lugares cerrados, ya sea para asistir a ancianos que vivan solos en su hogar [7, 8] o en hogares inteligentes [9]. El ESR conjuntamente con sistemas de análisis de video e imágenes también encuentra aplicaciones en sistemas de vigilancia [10, 11]; así como para el reconocimiento y monitoreo de especies animales y de aves a través de sus sonidos distintivos [12].

Inicialmente los algoritmos de reconocimiento de sonidos ambientales fueron una extensión de los paradigmas de empleados en el reconocimiento de voz. Sin embargo estos algoritmos demostraron no ser lo suficiente efectivos en aplicaciones de ESR dadas las características de los sonidos ambientales y al hecho de que los esquemas de reconocimiento de voz a menudo explotan la estructura fonética de las señales de voz; así como los modelos que describen la producción de señales de voz a partir de una señal de excitación y de un modelo del tracto vocal. Mientras que los sonidos ambientales tales como los de un disparo, un rayo, una tormenta o el ruido en la vía pública no tienen, aparentemente, ninguna estructura susceptible de ser modelada como en el caso de un fonema.

Con el fin de proponer soluciones a los problemas mencionados anteriormente varios esquemas han sido propuestos durante los últimos años, los cuales se pueden clasificar en esquemas empleando procesamiento basado en tramas. Esquemas empleando procesamiento basado en sub tramas y esquemas empleando procesamiento secuencial. En los esquemas basados en el procesamiento en tramas, las señales de audio para ser clasificadas son primeramente divididas en tramas, usando funciones ventana, generalmente del tipo Hanning o Hamming. Seguidamente se extraen las características relevantes de cada trama las cuales son usadas tanto durante el entrenamiento del sistema como en la etapa de operación del mismo. Finalmente una decisión de clasificación es hecha para cada tra-

ma. Cuando se emplea el procesamiento basado en sub tramas, cada trama es segmentada en pequeñas sub tramas, usualmente con un traslape del 50 %. Seguidamente las características extraídas de cada sub trama son concatenadas o promediadas para formar un vector característico el cual es empleado para entrenar un clasificador. Finalmente la salida del clasificador es empleada para tomar la decisión final. Otra posibilidad es entrenar el clasificador para cada una de las sub tramas, tomando entonces una decisión colectiva para cada trama, basada en los resultados obtenidos para cada una de las sub tramas. Finalmente, cuando se emplea el procesamiento secuencial las señales de audio son divididas en pequeñas unidades, típicamente de 20 a 30 ms de duración con un traslape del 50 %. Este método es único cuando se requiere capturar la correlación entre los diferentes segmentos, así como las variaciones de larga duración del sonido bajo análisis. En los tres tipos de esquemas diversos trabajos se han llevado a cabo relativos al análisis de aspectos no estacionarios de los sonidos ambientales, así como el desarrollo de diversos mecanismos para la caracterización de sonidos basados en las propiedades tanto estacionarias como no estacionarias de los sonidos [1, 2]. Estos esquemas intentan maximizar el contenido relacionado con las características temporales y espectrales de la señal bajo análisis.

Diversas características desarrolladas para aplicaciones relativas al reconocimiento de voz y/o música han sido tradicionalmente usadas en técnicas de ESR estacionarias. Estas características están a menudo basadas en propiedades psicoacústicas de los tales como sonoridad, pitch, timbre, etc. Una detallada descripción de características usadas en el procesamiento de audio se puede encontrar en [12]. Las técnicas no estacionarias de ESR emplean características obtenidas por medio de la transformada Wavelet, la representación dispersa y el espectrograma. Entre ellos los métodos basados en Wavelets dan resultados comparables a los métodos estacionarios, mientras que aquellos basados en representación dispersa y el espectrograma, en general, proporcionan en general mejores resultados [13]. En muchas ocasiones se combinan diversos tipos de características para mejorar la precisión de la clasificación.

## 2. Sistema Propuesto

La Fig. 1 muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto el cual consiste de tres etapas, la etapa 1 que lleva a cabo el preprocesamiento de la señal de audio a fin de llevar a cabo la segmentación de las tramas de

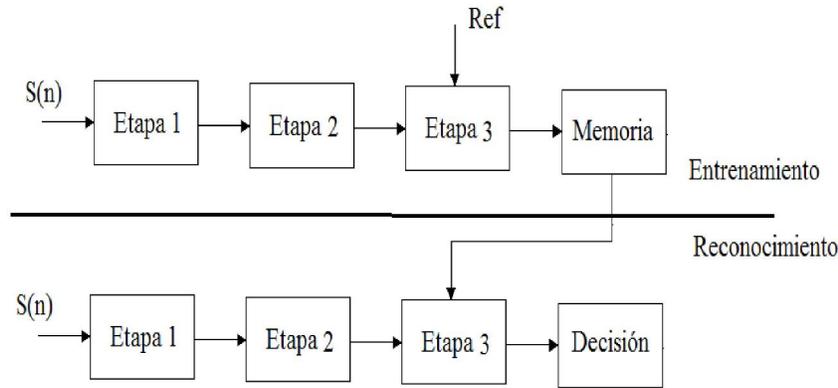


Figura 1. Sistema propuesto para el reconocimiento de sonidos ambientales

audio. Una vez procesada la señal de audio, esta se inserta en la etapa 2 la cual lleva a cabo la extracción de características. Seguidamente las características estimadas se insertan en la etapa de reconocimiento la cual se entrena de manera que se minimice algún criterio de la diferencia entre la respuesta real y la deseada. Una vez que el sistema se ha entenido los parámetros óptimos del clasificador se guardan en memoria para ser usados durante la operación de reconocimiento, en donde los parámetros del sistema se extraen de memoria y se insertan en el clasificador para llevar a cabo el reconocimiento.

### 2.1. Diseño del sistema

Cualquier sistema de reconocimiento de patrones depende fuertemente del funcionamiento de la etapa de extracción de características. A continuación se describen los esquemas de extracción de características empleadas en el sistema propuesto. Una de los parámetros que se proponen para caracterizar las señales de audio es el espectro beat, el cual es una medida de la periodicidad acústica de las diversas bandas de frecuencia de la señal bajo análisis, la cual se puede estimar a partir del espectrograma de la misma [13]. Con este fin, dado un archivo de audio  $x(n)$ , primero se calcula su espectro de frecuencia  $X(f)$ , empleando una ventana de Hamming con 50 % de traslape. A continuación, se obtiene la magnitud espectrograma  $V(f)$ , tomando el valor absoluto de los elementos de  $X(f)$ , después de desechar la parte simétrica. Seguidamente se calcula el promedio de la autocorrelación en una cierta banda de frecuencias del espectrograma,  $V^2(f)$ , a fin de obtener la matriz  $B$ . Finalmente la auto correlación acústica promedio  $b$  de  $x(n)$  se normaliza con respecto al valor  $b(0)$ . Este proceso se describe por medio de las ecuaciones

siguientes:

$$B(i, j) = \frac{1}{m - j + 1} \sum_{k=1}^{m-j+1} V^2(i, j)V^2(i, k + j - 1) \quad (1)$$

$$b(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B(i, j) \text{ entonces } b(j) = \frac{b(j)}{b(1)} \quad (2)$$

Donde  $i = 1, 2, \dots, n$  denota la  $i$  esima componente de frecuencias en escala mel,  $n = N/2 + 1, \dots, N$ , el número total de componentes de frecuencias y  $m$  denota el número total de tramas en la señal de audio. Otro parámetro muy que se emplea frecuentemente para llevar acabo la caracterización de las señales de audio es el ancho de banda de la señal de entrada, el cual está dado por:

$$\sqrt{\frac{\int_0^{w_0} (w - w_0)^2 |F(w)|^2 dw}{\int_0^{w_0} |F(w)|^2 dw}} \quad (3)$$

El ancho de banda representa una característica de frecuencia que ha demostrado ser muy eficiente en muchos sistemas empleados para el reconocimiento de audio [15, 19, 20, 21].

El centroide, el cual es una medida de brillo espectral también ha mostrado ser de utilidad para caracterizar sonidos, se puede estimar como:

$$C = \frac{\sum_1^N f M[f]}{\sum_1^N M[f]} \quad (4)$$

La duración espectral (SF), la cual representa el valor promedio de la variación de espectro entre dos tramas adyacentes de una señal de audio, es otro parámetro importante para la caracterización de sonidos la cual está dada por:

$$SF = \frac{1}{(N-1)(K-1)} \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{k=1}^{K-1} [\log(A(n, k) + \delta) - \log(A(n-1, k) + \delta)]^2 \quad (5)$$

$$A(n, k) = \left| \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(n)w(nL - m)e^{-\frac{j2\pi km}{L}} \right| \quad (6)$$

Donde  $x(n)$  es la señal de audio de entrada discreta,  $w(m)$  de la ventana función;  $L$  es la longitud de la ventana,  $k$  denota la  $k$  esima componente de frecuencia,  $\delta$  es un valor muy pequeño para evitar el desbordamiento de cálculo y  $n$  es el número total de muestras en una trama de audio [18]. El número de cruces por cero se define como el número de cambios de signo que experimenta la señal de audio en cada trama. Esto proporciona de manera sencilla una medida de la frecuencia fundamental de la señal. El número de cruces por cero esta dado por:

$$ZCR = \frac{1}{2(N-1)} \sum_{m=1}^{N-1} |sgn[x(m+1) - sgn[x(m)]]| \quad (7)$$

Donde  $sgn$  es una función de signo,  $x(m)$  es la señal de audio y  $m = 1, \dots, N$ . El ZCR es un buen discriminador entre las señales de voz y las señales de ruido ambiente. Debido a esto, muchos sistemas [14, 15, 16, 17, 18] han utilizado el ZCR para la clasificación de señales de audio.

### 2.2. Etapa de Clasificación

El clasificador empleado para llevar a cabo el reconocimiento de las señales de audio es el esquema de Batchelor & Wilkins (B & W), el cual a diferencia del esquema K means, es un método de agrupamiento en el cuál el número de clases es desconocido de antemano. Este es un clasificador de muy eficiente y de baja complejidad, aunque su comportamiento esta sesgado por el orden de la presentación de los patrones. El clasificador B & W se muestra en la Tabla 1.

### 3. Evaluación Experimental

Con el fin de evaluar el desempeño del sistema propuesto con distintos tipos de sonidos, se creó una base de datos consistente una mezcla de señales de voz con diversas clases de ruidos ambientales tales como bosque, selva, gato, perro, caballo, disparo, bebé, así

Tabla 1. Algoritmo de Batchelor & Wilkins

Algoritmo
Primer agrupamiento: Patrón escogido al azar
Segundo agrupamiento: Patrón más alejado del primer agrupamiento
Mientras se creen nuevos agrupamientos obtener el patrón cuya distancia con los agrupamientos existentes sea máxima
Si la distancia obtenida es mayor que una fracción de la distancia media entre los agrupamientos, crear un nuevo agrupamiento con el patrón seleccionado
Asignar cada patrón a su agrupamiento más cercano

Tabla 2. Resultados experimentales empleando los parametros temporales y el espectro beat

Sonido	PT%	BSC%	b1%	b2%	b3%	b3%
Bosque	0	100	100	100	100	100
Selva	100	100	100	100	100	100
Gato	0	100	33.3	66.6	66.6	33.3
Perro	0	100	66.6	100	100	100
Caballo	100	100	100	100	100	100
Disparo	66.6	100	100	100	100	100
Bebe	33.3	100	66.6	33.3	66.6	33.3
Niños	33.3	100	100	100	33.3	100

como niños jugando, con lo que se generó una base de datos de 8 clases con tres archivos de audio ambiental por cada clase. Seguidamente se extrajeron las partes no vocalizadas de la señal bajo análisis, a fin de recuperar los sonidos ambientales para su posterior caracterización y reconocimiento mediante el algoritmo de B & W.

Inicialmente, los sonidos ambientales se caracterizaron por medio del centroide, ancho de banda, duración espectral, tasa de cruces por cero, etc., tomando tramas de 30 ms con un traslape de 50 %, cuando esto es necesario. Estas características se concatenaron para llevar a cabo el proceso de reconocimiento. Seguidamente se procedió a evaluar el desempeño del sistema propuesto, cuando los sonidos ambientales se caracterizaron empleando el “espectro beat”. Con esta finalidad, se calculó el espectro beat de los sonidos bajo análisis para 8 bandas de diferentes frecuencias en escala mel, tomando tramas de 10 ms con el cual se construyó el beat espectrograma para poder visualizar en cuál de las bandas del espectro beat existe una periodicidad característica para cada uno de los sonidos. De estos resultados se observa que, empleando las primeras cuatro bandas del espectro beat se puede caracterizar los audios ambientales debido a que estas muestran una periodicidad más marcada para cada una de estas bandas. Seguidamente en la figura 2 se pueden observar las gráficas del espectro beat de las cuatro bandas seleccionadas para las 8 clases donde se observa una clara caracterización para los sonidos ambientales de

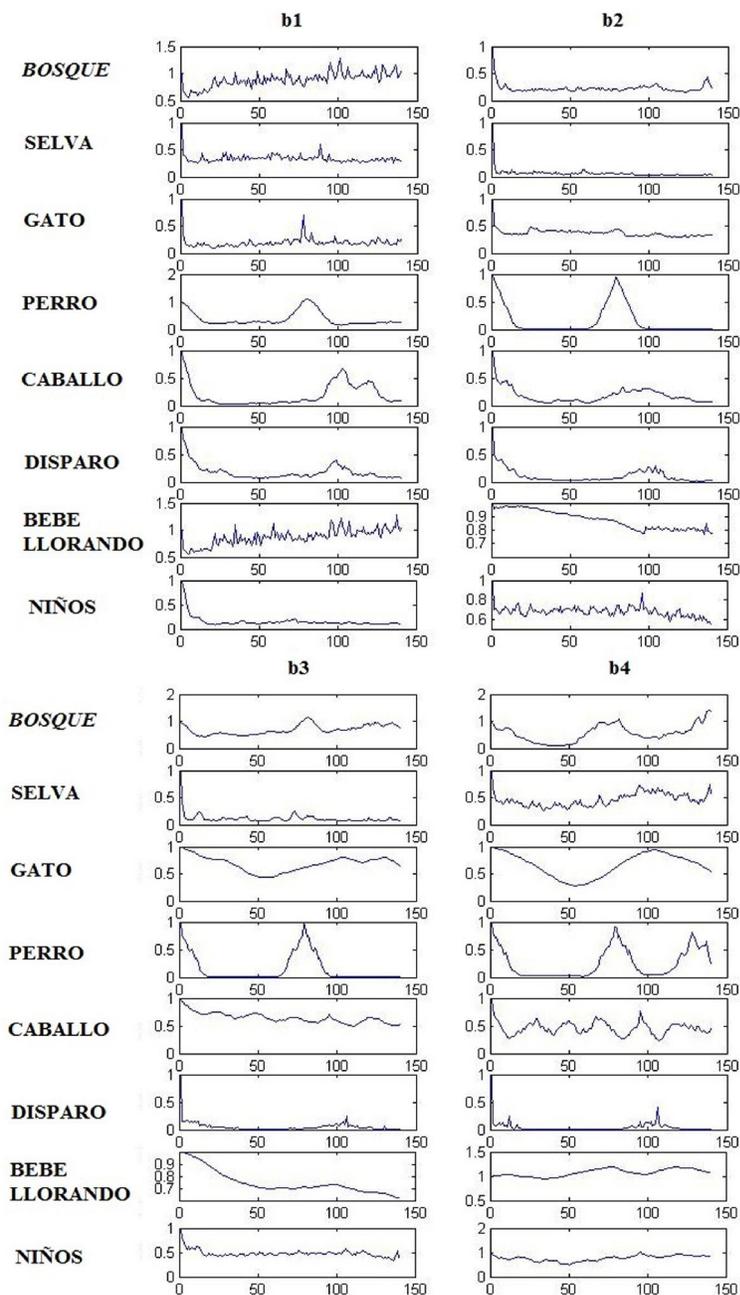


Figura 2. Espectro de PL obtenido de un depósito sobre sustrato de silicio (muestra G3)

cada clase. Para evaluar el desempeño al caracterizar sonidos ambientales del espectro beat en las bandas seleccionadas así como al concatenar los vectores característicos de las cuatro bandas se entrenó con estos vectores el clasificador B & W, obteniendo los resultados que se pueden ver en la tabla 2, junto con los resultados obtenidos empleando una concatenación de las otras características descritas en la sección 2.

#### 4. Conclusiones

De los resultados obtenidos empleando el sistema propuesto cuando la extracción de características se realiza empleando el espectro beat y las características temporales usualmente usadas tales como centroide, ancho de banda, duración espectral, tasa de cruces por cero, se puede observar que el espectro beat muestra ser un método más eficiente para llevar a cabo la caracterización de diversos sonidos ambientales, especialmente cuando se usa un vector característico concatenando los vectores del espectro beat de las cuatro bandas seleccionadas. Esto sugiere que el espectro beat es una característica muy útil para el reconocimiento de sonidos ambientales.

#### Referencias

- [1] A. Neustein and H. Partil. "Forensic Speaker Recognition Law Enforcement and Counter Terrorism". 2013. Springer, 2012
- [2] S. Ikram and H. Malik. "Digital Audio Forensics using Background Noise". In: *Proc. of International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 106–110, IEEE Press (2010).
- [3] T. Virtanen and M. Helén. "Probabilistic model based similarity measures for audio query by example". In: *Workshop of Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, pp. 82–85, IEEE Press (2007).
- [4] S. Duan, J. Zhang, P. Roe and M. Towsey. "A survey of tagging techniques for music, speech and environmental sound". *Artificial Intelligence Review*, pp. 1–25 (2012).
- [5] S. Chu, S. Narayanan, J. Kuo and M. Mataric M. J., "Where am I? Scene recognition for mobile robots using audio features". In: *Proc. of Multimedia and Expo*, pp. 885–888, IEEE Press (2006).
- [6] N. Yamakawa, T. Takahashi, T. Kitahara, T. Ogata, and H. Okuno. "Environmental sound recognition for robot audition using Matching Pursuit". In *Modern Approaches in Applied Intelligence*, pp. 1–10 Springer (2011).
- [7] J. Chen, H. Kam, J. Zhang, N. Liu and L. Shue. "Bathroom activity monitoring based on sound". In *Pervasive Computing*, pp. 47–61, Springer(2005).
- [8] M. Vacher, F. Portet, A. Fleury and N. Noury "Challenges in the processing of audio channels for ambient assisted living". In *Proc. of e Health Networking Applications and Services (Healthcom)*, pp. 330–337, IEEE Press (2010).
- [9] Wang J. J. C., H. Lee, J. Wang and C. Lin. "Robust environmental sound recognition for home automation". *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 5, pp. 25–31, (2008).
- [10] M. Cristani, M. Bicego and V. Murino. "Audio visual event recognition in surveillance video sequences". *IEEE Trans. Multimedia*, 9(2), pp. 257–267, (2007).
- [11] R. Sitte and L. Willets. "Non speech environmental sound identification for surveillance using self organizing maps". In *Proc. Int. Conf. on: Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications*, pp. 281–286, ACTA Press (2007).
- [12] D. Mitrovic, M. Zeppelzauer, and C. Breiteneder. "Features for content based audio retrieval". *Advances in computers*, 78, pp. 71–150 (2010).
- [13] J. Foote and S. S. Uchihashi. "The beat spectrum: A new approach to rhythm analysis". In: *Proc. of Int. Conf. Multimedia and Expo*, pp. 881–884, IEEE Press (2001).
- [14] J. Saunders. "Real time Discrimination of Broadcast Speech/Music". *Proc. of ICASSP96, Vol. II*, pp. 993–996, Atlanta, May, 1996.
- [15] E. Scheirer and M. Slaney. "Construction and Evaluation of a Robust Multifeature Music/Speech Discriminator". In: *Proc. of ICASSP 97*, pp. 1331–1334 IEEE Press.1997.
- [16] T. Zhang, C. C. J. Kuo. "Heuristic Approach for Generic Audio Data Segmentation and Annotation". *Proc. of ACM Multimedia 99*, pp. 67–76, 1999.
- [17] S. Srinivasan, D. Petkovic and D. Ponceleon. "Towards robust features for classifying audio in the CueVideo System". In: *Proc. int. conf. on Multimedia*, pp.393–400.ACM (1999).
- [18] L. Lu, H. Jiang and H. Zhang. "A Robust Audio Classification and Segmentation Method". In: *Proc. of int. conf. on Multimedia*, pp. 203–211, ACM (2001).
- [19] S. Li. "Content based classification and retrieval of audio using the nearest feature line method". *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 8 (5) 619–625 (2000).
- [20] E. Wold, T. Blum, D. Keislar and J. Wheaton. "Content based classification, search and retrieval of audio". *IEEE Multimedia Magazine*, 3(3): 27–36, (1996).
- [21] Z. Liu, J. Huang, Y. Wang and T. Chen. "Audio feature extraction and analysis for scene classification". In: *Workshop on Multimedia Signal Processing*, IEEE (1997).

# Parallel Genetic Algorithms on a GPU to Solve the Travelling Salesman Problem

Leopoldo Noel Gaxiola Sánchez, Juan José Tapia Armenta, Víctor Hugo Díaz Ramírez

Instituto Politécnico Nacional, CITEDI  
Ave. del Parque 1310, Mesa de Otay, Tijuana, B.C., 22510, México.  
[lgaxiola@citedi.mx](mailto:lgaxiola@citedi.mx), [jtapiaa@ipn.mx](mailto:jtapiaa@ipn.mx), [vdiazr@ipn.mx](mailto:vdiazr@ipn.mx)

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Abstract

The implementation of parallel genetic algorithms on a graphic processor GPU to solve the Travelling Salesman Problem instances is presented. Two versions of parallel genetic algorithms are implemented, a Parallel Genetic Algorithm with Islands Model and a Parallel Genetic Algorithm with Elite Island; the two versions were executed on a GPU. In both cases, each individual is represented by a thread, and each island is represented by a block of threads. The main feature of the Parallel Genetic Algorithm with Elite Island in this work is that there is not migration between islands, instead, an Elite Island is created with the best individuals from each of the islands to share the best individuals. The individual with minimal fitness function is the sought solution. The results show that the Elite Island model is better than the island model with migration of individuals.

*Keywords:* GPU, Island Model, Parallel Genetic Algorithms, Travelling Salesman Problem

---

## 1. Introduction

The Travelling Salesman Problem (TSP) is a typical representative of a large class of problems known as combinatorial optimization problems. The study of combinatorial optimization problems is of great importance from a theoretical and practical point of view. These problems are presented in real-world situations, such as routing and scheduling, belonging to NP-complete and NP-hard problems. Among them, TSP is one of the most important, since it is very easy to describe, but has an extremely large search space and is very difficult to solve, it is probably the most studied

combinatorial optimization problem and has become a standard testbed for new algorithmic ideas. Genetic Algorithms (GAs) are efficient search methods based on the biological principles of natural selection and genetics. They are being applied successfully to find acceptable solutions to problems in business, engineering, and science [1]. As occurs in nature, GAs are based on the survival of the fittest individuals in a population. The GA starts with an initial population that evolves from one generation to another, through the creation of new individuals with better fitness values and elimination of individuals with low fitness values. In GAs the population evolves by applying genetic operators such as

selection, crossover and mutation, whose functionality and implementation depends on the problem to solve. One of the main features of the genetic algorithm is its ease of parallelization, since they are based on populations of independent individuals, thereby calculating the fitness function and the results of genetic operators of an individual not depend on the calculation of other individuals [2].

Typically the initial population is generated randomly with an uniform probability distribution. The initial population size is important because it influences whether the GA can find good solutions and the time it takes to reach them. If the population is too small, it may not be an adequate sample of the search space, and it will be difficult to identify good solutions [3]. If the population is too large, it is necessary to use a lot of computational resources and processing time. In each iteration of the GA a new population of individuals is created on the basis of their predecessors, having more chance to reproduce those with better fitness function. GAs are generally able to find good solutions of combinatorial optimization problems in a reasonable time, but as applied to the hardest and biggest problems an increase in the time required to find adequate solutions occurs. Consequently, there have been many efforts to implement faster GAs, and one of the most promising alternatives is to use parallel implementations, which can obtain a substantial reduction of processing time. In recent years the development of powerful graphics processors has had a major boost, as a result we may have computing platforms with high performance and low cost.

While the first implementations of parallel GAs were designed for multi-core CPUs, clusters, and grids (e.g. ParadisEO [4]), with current Graphics Processing Units (GPU) there exist another parallel architecture, offering a high degree of parallelism and huge amounts of computational power. As a consequence, it seems natural to employ GPUs for parallel GAs. Most of the work up to now focuses on implementing GAs on older GPUs; even using the graphics hardware of previous generations, some claim to achieve speedups higher than 1000 when comparing their GPU implementations to normal CPUs. However, Speedups of this magnitude can only be achieved by comparing optimized GPU code to poor CPU implementations [5].

In this paper two versions of parallel genetic algorithms were implemented on a GPU to solve the TSP, a Parallel Genetic Algorithm with Island Model (PGAIM) and a Parallel Genetic Algorithm with Elite Island (PGAEL), those already were used in [6] to solve the problem of approximation of NURBS curves to a set

of points of a medical image. A comparison between them is done in terms of the best solution and time.

## 2. Traveling Salesman Problem

The TSP is to find a Hamiltonian tour of minimal length on a fully connected graph. The TSP is a well-known NP-complete problem, thus, there is no polynomial algorithm to find the optimal result [7]. Heuristic algorithms for the TSP can be broadly divided into two classes: tour construction procedures, which build a tour by successively adding a new node at each step, for example Ant Colony Optimization [8]; and tour improvement procedures, which start from an initial tour and seek a better one by iteratively moving from one solution to another, according to adjacency relationships defined by a given neighborhood structure, for example GA, this approach was used in this work. The goal in the TSP is to find a minimum length Hamiltonian tour, where a Hamiltonian tour is a closed path visiting each of  $n$  nodes of a graph  $G$  exactly once. Thus, an optimal solution to the TSP is a permutation of the nodes index  $1, 2, \dots, n$  such that the length  $f(\pi)$  is minimal, where  $f(\pi)$  is given by

$$f(\pi) = \sum_{i=1}^{n-1} d_{\pi(i)\pi(i+1)} + d_{\pi(n)\pi(1)} \quad (1)$$

where  $d_{\pi(i)\pi(i+1)}$  is the distance between nodes  $i$  and  $i + 1$  and  $d_{\pi(n)\pi(1)}$  is the distance between node  $n$  and the first node.

In general, the TSP includes two different kinds of problems, the Symmetric TSP and the Asymmetric TSP. In the symmetric form there is only one way between two adjacent cities, i.e., the distance between cities  $A$  and  $B$  is equal to the distance between cities  $B$  and  $A$ , while in the asymmetric form there is not such symmetry and it is possible to have two different distances between two cities. The number of tours in the ATSP and STSP on  $n$  vertex (cities) is  $(n - 1)!$  and  $(n - 1)!/2$ , respectively.

## 3. Parallel genetic algorithms

Parallel genetic algorithms arise from the need of computation required for extremely complex problems whose running time using sequential genetic algorithms is a limitation [9]. The implementation of parallel genetic algorithms aims to break a problem into several sub-problems and solve them simultaneously on multiple processors, which improves the performance and quality of search of genetic algorithms. In general, the behavior of parallel algorithms is the same as in the sequential algorithms. However this is not necessarily the case

of the parallel genetic algorithms. In the structure of a task, parallel genetic algorithms can be divided into sub-tasks so that there is a balanced distribution of activities; members of the populations of a genetic algorithm can be divided into sub-populations that are distributed on different processors through communication and control mechanisms that help to generate a solid structure at the level of genetic algorithms in a parallel environment. There are several ways to parallelize a genetic algorithm. The first and most intuitive is the global, which is basically to parallelize the evaluation of the fitness function of individuals holding a single stock. A better option for parallelization of genetic algorithm is to divide the population into subpopulations that evolve separately and exchange individuals every few generations [9]. The following describes each of the stages of a genetic algorithm.

### 3.1. Individual representation

An important consideration that must be taken into account when designing a GA is to define a representation for individuals in the population that model the solution of the problem [2]. Individuals are represented by the chromosome that contains a gene vector symbolizing the data we want to optimize. In this work each individual represents a tour.

### 3.2. Fitness Function

The fitness function determines the potential of the solution that individuals have within the population [2]. In this work, the cost function which represents the fitness function is given by Eq. (1) and the goal of the genetic algorithm is to minimize this cost function.

### 3.3. Genetic operators

#### 3.3.1. Selection operator

Selection is the process of choosing two parents from the population for crossover [2]. The selection operator produces new points in the search space, it determines which individual will leave offspring for the next generation. There are various selection methods used in GAs, such as roulette selection, tournament selection, and fitness proportional. In this paper a tournament selection is implemented, in which randomly chooses a small sample of the population and it is selected the individual with best fitness value. For PGAIM an individual from the same island is selected and in the case of the PGAEI an individual from same island or Elite Island is selected. In both cases only one individual is selected

to be crossed and the other individual is defined by the thread, because in both algorithms each individual is assigned to a thread on the GPU.

#### 3.3.2. Crossover operator

The genetic crossover operator is used to improve individuals of the population. To perform the crossover operation, two individuals are selected to be combined and the resulting individual has the ability to replace one of the parents or the individual with the worst fitness in the population [2]. The new individual will replace a parent provided that have better fitness function. If the new individual is not better than parents can try to replace the worst individual in the population. The process is aimed at the sub-regions of the search space, where it is assumed that there is an better solution. There are several ways to apply the crossover operator such as crossing a single point, multi-point crossover, uniform crossover, among others. In this work, each individual in the population makes cross with another individual chosen by the selection operator in each iteration and cross used by two points, where two positions in the chain of genes on the chromosomes of both parents are selected randomly. One parent provides information that is outside the range between the two positions and the other provides the information that is provided in the two positions.

#### 3.3.3. Mutation operator

The mutation operator creates an individual performing some type of alteration, usually small, on an individual of the population chosen randomly. The mutation is intended to disperse the search algorithm as it gives rise to individuals with new genetic material. In this paper, the process of mutation used is by inversion where two positions of individual chromosomes are randomly selected and chromosome genes of the individual that fall into these two positions are inverted.

## 4. Implementation of parallel genetic algorithms on a GPU

This section described in detail the two versions of parallel genetic algorithms that have been implemented on a GPU. Importantly, the number of threads is equal to the number of individuals because each individual in the population is mapped to a GPU thread and each island is mapped to a GPU threads block.

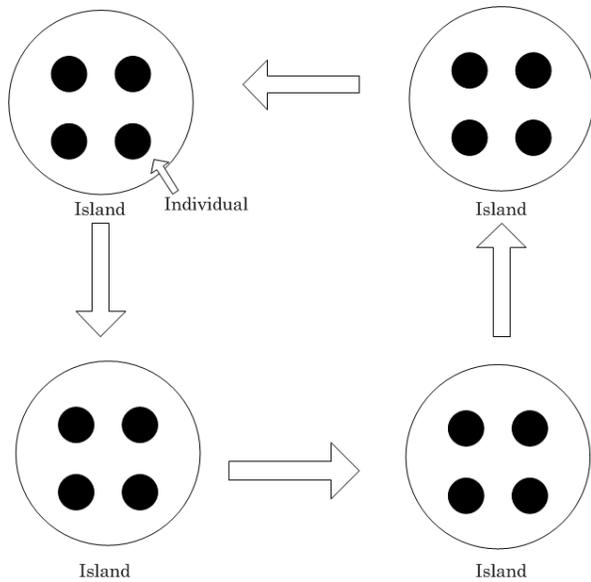


Figure 1. Parallel Genetic Algorithm with Islands Model.

#### 4.1. Parallel Genetic Algorithm with Islands Model

On the PGAIM the population is divided into subsets [3]. The exchange of individuals is called migration, and is considered as a new genetic operator. In Fig. 1 is shown the organization of individuals in the population of PGAIM. The pseudocode for PGAEI is presented in Algorithm 1. The algorithm starts by allocating memory on the CPU and the GPU, with the next step the CPU calculates the cost matrix, after cost matrix is copied from CPU memory to GPU memory.

Then the initial population is generated by the kernel *IniPop* where each thread generates the individual will process. At the end of this kernel fitness function for each individual is evaluated, which is the sum of the distances. The individuals generated by *IniPop* kernel are stored in a variable called *I* that represents the old solution. The population then enters a loop that processes the PGAIM kernel, overall stopping criterion is determined by the number of iterations or when an individual achieves a certain value of the fitness function. In this work we chose to end when a certain number of iterations is reached. The PGAIM kernel first thing is to select the best population individual of each island in order to keep, select the worst of the next island and the best of the island replaces the worst of the next island, for it was necessary to assign two variables in shared memory one to store the fitness value of the best individual and another variable to store the thread identifier of the best individual, so that only individuals of an island may access these variables and keep isolated islands.

After that, an individual to cross is selected with tournament selection operator, which compares five individ-

#### Algorithm 1 Pseudocode of PGAIM

```

main(){
    memory allocation on the CPU and the GPU
    calculate cost matrix
    copy of memory from CPU to GPU
    threads = IND_NUM
    blocks = ISLA_NUM
    IniPop<<<blocks,threads>>>()
    while condition_end==FALSE do
        PGAIM<<<blocks, threads>>>(parameters)
    end while
    copy of memory Population from GPU to CPU
    get best solution
    free memory on GPU and CPU
}

--global IniPop(){
    PobGen(I)
    Evaluate(I)
    set the best individual in each island
    NextIslandMigrate( $I_{I+1}$ )
}

--global PGAIM(){
    SetParents(I)
     $I_{new} \leftarrow$  ParentsCross(I)
    Evaluate( $I_{new}$ )
    if Fitness( $I_{new}$ ) < Fitness(I) then
         $I = I_{new}$ 
    end if
     $I_{new} \leftarrow$  Mutation(I)
    set the best individual in each island
    NextIslandMigrate( $I_{I+1}$ )
}
    
```

uals and selects the one with higher fitness value. As can be seen, all the threads come to make the crossing in each iteration. The crossover operator is then applied between the two parents. Subsequently, the mutation operator is applied. The individual generated by crossing is stored in the variable  $I_{new}$  representing the new population. If the thread between mutation also make the individual generated goes directly into the population without replacing old best individual. Finally, in the PGAIM kernel, generated individuals are evaluated and their fitness function if the individual of the new population has a better fitness than the individual of the old population is replaced. When the iterations terminate the old population is copied to the CPU. Then the best solution generated by the GA is obtained and finally the reports of CPU and GPU are released.

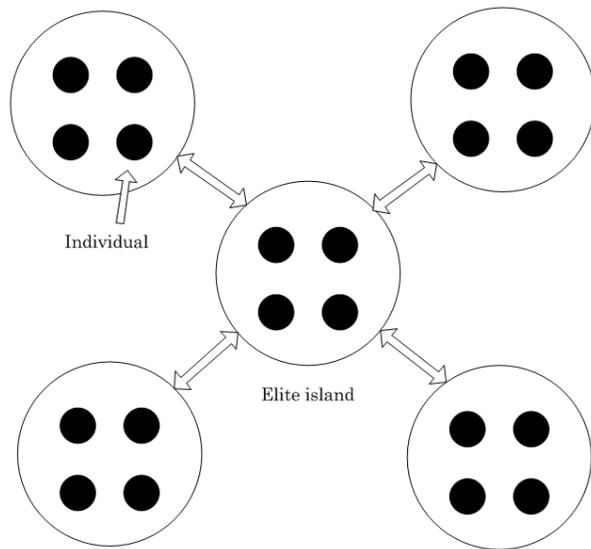


Figure 2. Parallel Genetic Algorithm with Elite Island.

#### 4.2. Parallel Genetic Algorithm with Elite Island

In the PGAEI, instead of migrating individuals between islands, an island with the best individuals of each sub-population, called Elite Island is built. This island of best individuals is shared with all the other islands. In Fig. 2 is shown the organization of individuals in the population of PGAEI.

The pseudocode for PGAEI is presented in Algorithm 2. The implementation of PGAEI in the GPU is very similar to the way in which the PGAIM was implemented. Begin with the kernel *IniPop* where the population is created, with the difference that after evaluating the fitness function of the best individual is selected each island and migrated to the Elite Island. Individuals generated in the kernel *IniPop* are stored in the *I* variable representing the older population. In addition there is a variable called Elite *E*, where there is a space allocated to store the best individual of each island. Then enters a loop that processes the kernel PGAEI, which ends when a certain number of iterations is reached. At the time of the crossing only a random individual of the same island *I* or Elite Island *E* is selected. Then generated individuals are evaluated with the fitness function. If the new individual in the population  $I_{new}$  have better fitness than the individual of the old population *I*, it is replaced. The mutation operator is applied similarly as in PGAIM, with the difference that all individuals make mutation and only enter the population if they are better than replacing the individual is then applied. At the end of the PGAEI kernel, the best individual of each island is selected and migrates to Elite Island. When the iterations end only the Elite Island CPU is copied. Then the best solution generated by the GA is obtained and finally the reports

#### Algorithm 2 Pseudocode of PGAEI

```

main(){
    memory allocation on the CPU and the GPU
    calculate cost matrix
    copy of memory from CPU to GPU
    threads = IND_NUM
    blocks = ISLA_NUM
    IniPop<<<blocks,threads>>>()
    while condition_end==FALSE do
        PGAEI<<<blocks, threads>>>(parameters)
    end while
    copy of memory Elite Island from GPU to CPU
    get best solution
    free memory on GPU and CPU
}

--global IniPop(){
    PobGen(I)
    Evaluate(I)
    set the best individual in each island
    EliteMigrate(E)
}

--global PGAEI(){
    SetParents(I, E)
     $I_{new} \leftarrow$  ParentsCross(I, E)
    Evaluate( $I_{new}$ )
    if Fitness( $I_{new}$ ) < Fitness(I) then
         $I = I_{new}$ 
    end if
     $I_{new} \leftarrow$  Mutation(I)
    set the best individual in each island
    EliteMigrate(E)
}

```

of CPU and GPU are released.

### 5. Results

Several experiments are presented in order to compare two strategies of parallel genetic algorithms on GPU. The problems were obtained from the Travelling Salesman Problem Library (TSPLIB) [10]. In all experiments a mutation rate of 5% for PGAIM and 100% for PGAEI was used, and each individual to mutate was selected by tournament of five individuals chosen at random. The algorithms were implemented in CUDA C on a 3.4 Ghz Intel-i7 desktop computer with 16 GB of RAM memory, running on a GNU/Linux 64-bits operating system. The algorithms are processed on a GPU GeForce GTX 780. Results for different TSP problems of TSPLIB library with PGAIM are presented in Table 1 and results with PGAEI are presented in Table 2. The Time column

Table 1. TSP solution for different problems of TSPLIB with PGAIM.

Problem	TSPLIB	Best	Worst	Mean	Error	Stan. dev. ( $\sigma$ )	Time (sec)
XQG237	1019	1038	1065	1049	1.86	11.24	9.01
BCL380	1621	1639	1676	1663	1.09	9.78	32.87
PBM436	1443	1485	1517	1503	2.91	9.62	66.02
XQL662	2513	2643	2694	2661	5.17	13.91	293.07
RBU737	3314	3442	3496	3467	3.86	24.03	355.69
DKG813	3199	3396	3481	3435	6.15	13.15	535.38
XIT1083	3558	3808	3902	3852	7.02	25.06	625.27
DKA1376	4666	5013	5115	5065	7.43	25.63	901.54
RBY1599	5533	6153	6276	6198	11.20	32.07	1052.36

Table 2. TSP solution for different problems of TSPLIB with PGAEI.

Problem	TSPLIB	Best	Worst	Mean	Error	Stan. dev. ( $\sigma$ )	Time (sec)
XQG237	1019	1030	1052	1043	1.08	7.83	9.83
BCL380	1621	1633	1669	1654	0.74	12.67	35.36
PBM436	1443	1474	1509	1497	2.14	12.41	70.19
XQL662	2513	2606	2666	2646	3.70	18.68	309.02
RBU737	3314	3416	3453	3437	3.07	20.47	367.54
DKG813	3199	3316	3351	3332	3.65	9.83	550.31
XIT1083	3558	3744	3810	3781	5.22	20.93	644.71
DKA1376	4666	4934	4996	4960	5.74	21.95	976.16
RBY1599	5533	5943	6141	6025	7.41	25.63	1161.18

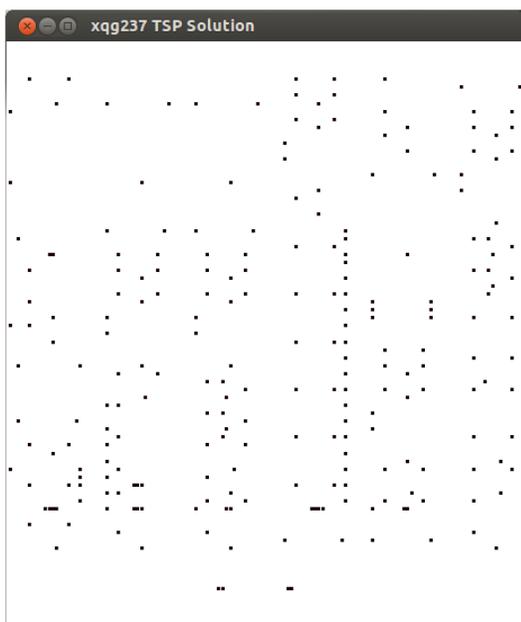


Figure 3. Representation of cities for the problem xqg237 of TSPLIB.

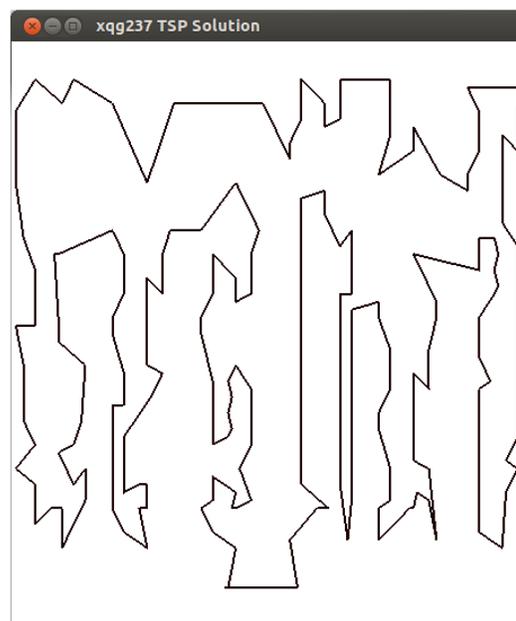


Figure 4. Best solution obtained with the PGAEI algorithm for the problem xqg237.

shows the time it takes to run the entire program, and the Error column shows the error of approximation of the value of the fitness function of the best individual that provides the genetic algorithm (best individual is the solution having the minimum distance over the cities) and the TSPLIB optimum. The error of the best path found with regard to the optimal route in the TSPLIB reported is calculated as follows:

$$Error = \left( \frac{BestSolution - OptimumTSPLIB}{OptimumTSPLIB} \right) \times 100, \quad (2)$$

where *BestSolution* (*Best column*) is the result throw by implemented algorithm and *OptimumTSPLIB* (TSPLIB column) is the TSPLIB optimum. Figure 3 presents the problem xqg237, the cities are represented by the holes of a printed circuit board. Also, the Figure 4 shows a solution to implement PGAEI to solve problem xqg237.

In Table 1, we can see that the more cities have the TSP problem the algorithm solution could be further from the desired optimum, this due to the how the complexity of the TSP in relation to the number of cities increases. For the mean results in both cases 10 runs of the algorithm were made.

The Table 2 shows that the behavior is very similar to the PGAIM but PGAEI algorithm yields better results than PGAIM in very similar time. In both cases we can see that the error increases as the number of cities increases, and the PGAEI got less than 8% error for all the problems.

## 6. Conclusions and Future Work

In this paper parallel genetic algorithms were implemented on a GPU to approximate the solution of TSP problem. Two versions of parallel genetic algorithms were implemented, a Parallel Genetic Algorithm with Island Model and a Parallel Genetic Algorithm with Elite Island. The Parallel Genetic Algorithm with Elite Island gives better results than the Parallel Genetic Algorithm with Island Mode. This advantage is provided by the Elite Island because it shared the fittest individuals among all the islands in almost the same time.

Currently, we are developing a version of parallel genetic algorithm on multi-GPU to solved TSP bigger problems, the main idea is to have a Parallel Genetic Algorithm with Elite Island by GPU and make migration between Elite Islands.

## 7. Acknowledgements

It is appreciated the support from Instituto Politécnico Nacional (Project grants SIP20140679 and SIP20140678).

## References

- [1] A. E. Eiben, and J. E. Smith. *Introduction to Evolutionary Computing*. Springer, 2003.
- [2] S. N. Sivanandam, and S. N. Deepa. *Introduction to Genetic Algorithms*. Springer, 2008.
- [3] G. Luque, and E. Alba. *Parallel Genetic Algorithm: Theory and Real World Applications*. Springer, 2011.
- [4] S. Cahon and N. Melab and E.-G. Talbi. "ParadisEO: A Framework for the Reusable Desing of Parallel and Distributed Metaheuristics", *Journal of Heuristics*, Vol. 10, pp. 357-380, May 2004.
- [5] J. Hofmann, and S. Limmer and D. Fey. "Performance investigations of genetic algorithms on graphics cards", *Swarm Evol. Comput.*, Vol. 12, pp. 33-47, October 2013.
- [6] L. Gaxiola and J. Tapia and J. Rolón. "Optimización en la aproximación de curvas NURBS con Algoritmos Genéticos Paralelos en un GPU", *DIFU100ci*@, Vol. 7, No. 2, pp. 8-16, 2013.
- [7] T.H. Cormen and Ch.E. Leiserson and R.L. Rivest and C. Stein. *Introduction to algorithms*. MIT Press, third edition, 2009.
- [8] M. Dorigo and T. Stutzle. *Ant Colony Optimization*. MIT Press, 2004.
- [9] E. Cant-Paz. *Efficient and accurate parallel genetic algorithms*. Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [10] Georgia Institute of Technology. *The Travelling Salesman Problem*. [www.tsp.gatech.edu/data/index.html](http://www.tsp.gatech.edu/data/index.html) March 2003.

# Programación Generativa en Java y Modificación de Funcionalidades a Tiempo de Carga

José Ismael Beristain Colorado, Ulises Juárez Martínez, Luis Reyes Hernández

*Instituto tecnológico de Orizaba, División de estudios de posgrado e investigación.  
Oriente 9 No. 854, Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Ver., México, 94320.  
[isma.sp6@gmail.com](mailto:isma.sp6@gmail.com), [ujuarez@ito-depi.edu.mx](mailto:ujuarez@ito-depi.edu.mx), [l.a.reyes.h@gmail.com](mailto:l.a.reyes.h@gmail.com)*

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

La programación generativa (PG) es un paradigma de desarrollo de software que modela e implementa familias de sistemas, permitiendo a un sistema generarse automáticamente con base en una especificación definida, teniendo como objetivo conseguir alta intención, reutilización y adaptación sin comprometer el desempeño en tiempo de ejecución ni los recursos del software, solventando la necesidad de adaptación de una aplicación a nuevos requerimientos. En este artículo se presenta la situación actual de la PG y se describe el caso de estudio de una aplicación para química, representando la creación de elementos químicos por medio de la creación de objetos; sin embargo, en ocasiones es necesario tener una versión extendida de dicha aplicación, por tanto se utilizan herramientas de meta-programación y el mecanismo de entrelazado de aspectos a tiempo de carga para agregar la funcionalidad de representar la creación de moléculas con base en los elementos creados por el sistema original.

*Palabras clave:* Java, Load-Time Weaving, Programación generativa.

---

## 1. Introducción

**A**ctualmente la etapa de mantenimiento presenta un continuo cambio en los requerimientos y la necesidad de contar con un buen manejo de versiones del sistema; la programación orientada a objetos (POO) y programación orientada a aspectos (POA) proporcionan cierto nivel de encapsulación y modificación de programas facilitando el reemplazo y mantenimiento de software, sin embargo no permiten realizar modifi-

caciones a un sistema de manera automatizada y a tiempo de ejecución. La PG brinda el soporte adecuado para solventar esta necesidad. La PG es un paradigma que permite el análisis, desarrollo y mantenimiento de aplicaciones de software, permitiendo la generación de programas con características muy similares a través de líneas de productos de software (LPS), teniendo tanta similitud es posible el intercambio de las piezas de software con que están contruidos dichos programas; el análisis de las LPS brinda un amplio conocimiento

del comportamiento de los sistemas, permitiendo prever cuáles piezas tienen más tendencia a ser modificadas y sus posibles cambios. También es posible reutilizar elementos previamente construidos generando nuevos programas de manera automatizada, siendo necesario el soporte de distintas técnicas de programación y meta-programación. Las bases de la PG son:

- Programación intencional.- Es un paradigma cuyo objetivo es que la implementación de un sistema refleje el comportamiento específico (intención) que el programador tiene en mente.
- POA.- Es un paradigma de programación que permite una mejor modularización del sistema a través de la separación de asuntos, entrelazando (a tiempo de carga, compilación o ejecución) los módulos que sean necesarios para el correcto funcionamiento de un programa.
- Generadores.- Un generador es un componente que obtiene como entrada una especificación (intención) de un requerimiento nuevo o cambiante y mediante técnicas de meta-programación realiza de manera automática los cambios necesarios o genera nuevo código que satisfaga el cambio de requerimientos.

La programación generativa ha recibido poca atención por la industria de desarrollo de software en su aplicación práctica, siendo poco común que en términos de desarrollo se contemple un enfoque de PG para la solución de problemas. Esto debido a la falta de conocimiento en tecnologías propias del lenguaje y del desarrollo de aplicaciones que abarcan líneas de productos de software. La contribución principal de este trabajo consiste en ilustrar mediante un caso de estudio, las ventajas de implementar mecanismos de meta-programación para generar y transformar programas en tiempo de carga bajo el enfoque Java. Este artículo se organiza de la siguiente forma: La sección 2 describe la situación actual de la PG desde un enfoque general. La sección 3 se refiere a la PG enfocada a la tecnología Java. La sección 4 describe el caso de estudio y muestra la implementación propuesta. La sección 5 muestra los resultados obtenidos. La sección 6 da pie a la discusión de ideas. La sección 7 presenta las conclusiones y trabajo a futuro.

## 2. Situación actual de la PG

La aplicación de la PG presenta un enfoque de auto-configuración y generación automática de componentes:

en [1] se presenta un lenguaje específico del dominio para generar código que permita la evolución acoplada del modelo relacional de una aplicación con su modelo de datos sin romper las abstracciones provistas por el sistema. En [2] se describe a GeoGram como un sistema que genera programas para cómputo geométrico, mediante la combinación de componentes de software genéricos realiza inferencias para derivar nuevos datos, introducir nuevos objetos, filtrar las opciones presentadas al usuario y generar el programa. En [3] se presenta un framework para monitorizar el código generado en tiempo de ejecución aumentando el nivel de abstracción con el que los desarrolladores analizan el código obtenido. En [4] se propone introducir la PG en el área de generación de aplicaciones de interfaces de usuario gráficas para generar aplicaciones personalizadas de forma automática mediante especificaciones abstractas. En [5] se mencionan los generadores de bibliotecas de alto rendimiento, comparando las características y conceptos necesarios para que un lenguaje de meta-programación permita la construcción sistemática de estos. En [6] se propone un proceso para el manejo de cambios a nivel de features en el desarrollo de software para solventar problemas de ineficiencia en la comunicación, fallas en el código y altos costos de mantenimiento que se presentan en los proyectos de software debido a la diversidad de stakeholders y artefactos.

## 3. Programación generativa en Java

En el ambiente Java también se reportan trabajos relacionados con la programación generativa, por ejemplo: en [7] se modificó una Máquina Virtual de alto rendimiento para realizar cambios a clases cargadas, permitiendo modificarlas en cualquier momento durante la ejecución del programa. En [8] se utiliza la generación automática de código para migrar bibliotecas de una Máquina Virtual de Java estándar a una empotrada. En [9] se presenta una herramienta basada en Java HotSpot la cual permite realizar cambios en tiempo de ejecución a las clases cargadas, basándose en esta herramienta se desarrolló una versión mejorada de una parte del IDE NetBeans, añadiendo componentes sin reiniciar la aplicación. En [10] se desarrolló una biblioteca de clases que genera el código necesario para que los programas escritos por los desarrolladores cumplan con los protocolos necesarios que establece cada framework que se necesita implementar, reduciendo costos al ahorrar el tiempo que invierte el desarrollador para aprender a utilizar cada framework. Algunas herramientas de meta-programación que se encuentran bajo el enfoque Java: Load Time Weaving (LTW) permite el entrelazado de

aspectos a tiempo de carga, promoviendo la mínima invasión al código original, para esto es necesario un agente que se encarga de interceptar las clases que deben ser entrelazadas y aplicar los aspectos requeridos [11]. Meta-AspectJ permite generar programas AspectJ sintácticamente correctos mediante plantillas de código, es una extensión de Java, por tanto es posible mezclar arbitrariamente código de Java con plantillas de código de AspectJ [12]. Javassist permite escribir meta-programas para modificar y definir clases automáticamente, simplificando la manipulación del bytecode, provee dos niveles de desarrollo: nivel de código fuente y nivel de bytecode [13].

#### 4. Caso de estudio aplicando tecnologías Java

El caso de estudio consiste en agregar funcionalidad a un sistema con base en restricciones definidas en una especificación de requerimientos (intención). El sistema original por medio de clases y objetos representa la creación, el ordenamiento e introspección de elementos químicos con sus respectivas características. Sin embargo, en ocasiones es necesario agregar una nueva funcionalidad, dependiendo el nivel de conocimiento del alumno que utilice el sistema, dicha funcionalidad consiste en representar la creación de moléculas utilizando los elementos químicos creados por el sistema original tomando en cuenta las restricciones de composición de cada molécula. El diagrama simplificado de clases que representa la arquitectura general del sistema original se ilustra en la figura 1.

Para la implementación de la nueva funcionalidad se requieren mecanismos que permitan al usuario definir las restricciones de composición de las moléculas a generar, para esto se propone la utilización de XML (código 1). También se requiere que el sistema sea capaz de interpretar y adoptar las restricciones de composición establecidas; además es necesaria la obtención y manipulación de los elementos químicos que han sido creados por el sistema original, para esto se utiliza la exposición de contexto que ofrece AspectJ a través de su modelo de cortes. Otro mecanismo necesario es la generación e incorporación de las moléculas al sistema en ejecución, para esto se utiliza Javassist. También es necesario que las modificaciones realizadas al sistema tengan el mínimo grado de invasión al código original y que el sistema vuelva a su estado original cuando termine su ejecución, para esto se utiliza LTW. Como se muestra en la figura 2, el esquema necesario para implementar la nueva funcionalidad utiliza los tres pilares de la programación generativa (POA, definición intencional y generación de código).

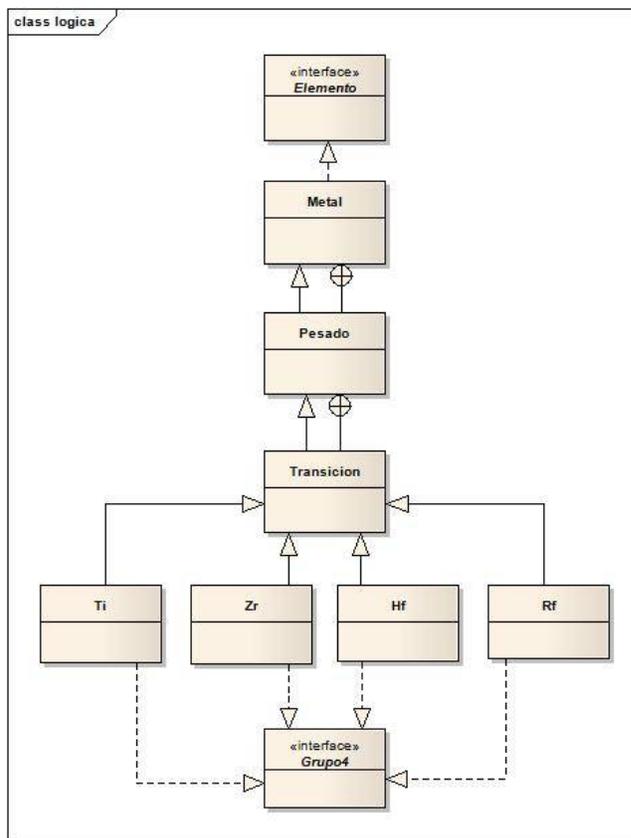


Figura 1. Fragmento del diagrama de clases del sistema original

Código 1. Restricciones de composición de la molécula de agua en el documento XML

```
<Requerimiento >
<Componente nombre=" Agua" >
  <Composicion >
    <Elemento nombre=" Hidrogeno" cantidad=" 2"
      valencia=" 1" ></Elemento >
    <Elemento nombre=" Oxigeno" cantidad=" 1"
      valencia=" -2" ></Elemento >
  </Composicion >
</Componente >
</Requerimiento >
```

#### 4.1. Modificación del sistema a tiempo de carga

Se opta por aplicar el entrelazado de aspectos a tiempo de carga para que la nueva funcionalidad que se va a agregar al sistema tenga la mínima intrusión en el código original y los cambios realizados no se vean reflejados cuando el sistema termine su ejecución; además de que utilizando este enfoque y mediante archivos XML es posible establecer el orden y los aspectos que serán entrelazados, permitiendo también definir aspectos concretos y configurar el weaver de AspectJ. Sin embargo es necesario tener en cuenta que al realizar los cambios

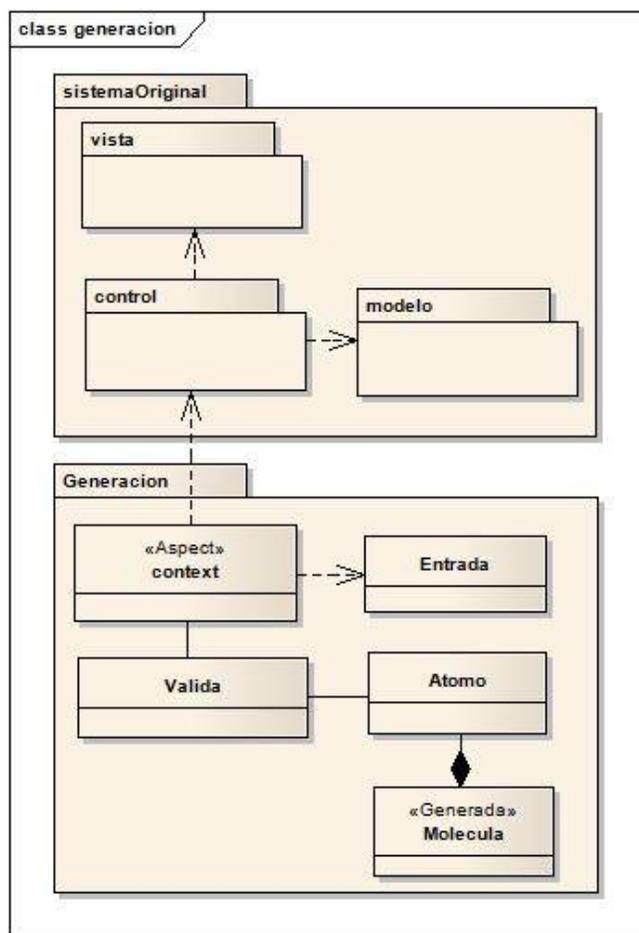


Figura 2. Diagrama de clases para el subsistema de generación de las moléculas

en tiempo de carga, no es posible agregar elementos estructurales a las clases compiladas previamente. Los pasos necesarios para realizar el entrelazado a tiempo de carga son los siguientes:

1. Compilar con ajc o javac los archivos con extensión .java que forman parte del sistema.
2. Compilar con ajc los archivos .aj que forman parte del sistema generando el XML que contiene las reglas de entrelazado y guardar la salida en un archivo .jar. (ajc -outxml -outjar "NombreDelJar" "aspecto a compilar")
3. Ejecutar la aplicación invocando al agente, y a cada archivo .jar que contenga los aspectos a entrelazar. (java -javaagent: "ruta del agente" -classpath.;"ruta de cada archivo .jar" programa a ejecutar).

#### 4.2. Generación mediante Javassist

La clase "Molecula" que se debe generar consta de una estructura de datos que almacena los elementos

químicos recibidos por el constructor y que son mostrados por el método "getComposicion()". El mecanismo de generación de la clase se aplica utilizando la herramienta de meta-programación Javassist, ya que el mecanismo introductions funciona únicamente para el entrelazado a tiempo de compilación y Meta-AspectJ no soporta la representación de elementos estructurales superiores a la versión 1.4 de Java. Para la generación de la clase "Molecula" se utilizan construcciones de tipo CtClass, CtField, CtConstructor y CtMethod que son representaciones que permiten definir clases, campos, constructores y métodos respectivamente. El código 2 muestra la generación de la clase molécula utilizando Javassist.

Código 2. Generación de la clase molécula mediante Javassist

```

public static void genera() throws Exception {
    ClassPool pool=ClassPool.getDefault();
    CtClass molecula=pool.makeClass("enJavassist1.
        Molecula");

    CtField campo=CtField.make("Object[]_atms;",
        molecula);
    molecula.addField(campo);

    CtMethod metodo=CtNewMethod.make("
        + "public void getComposicion() {"
        + "    for (int i=0; i<atms.length; i++) {"
        + "        System.out.println(\"\"+atms[i]);"
        + "    }"
        + "}", molecula);
    molecula.addMethod(metodo);

    CtConstructor cons=CtNewConstructor.make("
        + "public Molecula(Object[]_a) {"
        + "    _atms=_a;"
        + "    getComposicion();"
        + "}", molecula);
    molecula.addConstructor(cons);

    molecula.writeFile("bin/");
}
    
```

#### 5. Resultados

La transformación del sistema se realizó en la etapa de mantenimiento, agregando la funcionalidad de una nueva clase "Molecula" a tiempo de carga por medio Javassist; del mismo modo, la definición en XML de las restricciones de composición (intención) para las moléculas a crear fue efectiva ya que se realizaron varios experimentos con distintas restricciones que resultaron exitosos. Se utilizó la biblioteca de clases JDom [14] para la interpretación del documento XML y se aplicaron mecanismos de java.util.collections para implementar

las reglas de composición definidas en el documento XML, esto por medio de las capacidades agrupamiento, parametrización e iteración de sus elementos. Javassist permitió generar y guardar en disco de manera sencilla y eficaz la nueva clase “Molecula” a la cual es posible acceder de manera natural por medio de reflection. El mecanismo LTW cumplió con el objetivo de agregar funcionalidad con la mínima intrusión al código fuente por medio de la generación a tiempo de carga de una nueva versión de la aplicación original, mostrando de esta manera el potencial para generar distintas versiones de un sistema.

### 6. Discusión

El entrelazado de aspectos a tiempo de carga presenta las siguientes ventajas para el desarrollador: los cambios al sistema se aplican en el bytecode que se carga a la memoria figura 3, por tanto es posible que de manera simultánea a distintos clientes se les proporcionen funcionalidades diferentes de un mismo sistema sin que éste sufra cambios; otra ventaja de este enfoque se aprecia en la facilidad de realizar cambios a un sistema estableciendo las reglas de entrelazado y definiendo nuevos aspectos mediante archivos XML. En el área de evolución de aplicaciones de software bajo el enfoque Java se alcanza a visualizar que es necesario contar con un correcto y sistematizado control de versiones de los componentes que se utilicen, modifiquen y se produzcan a lo largo del proceso de evolución de un sistema de software, esto con el objetivo de tener un control de cada cambio que se realiza a cada componente y al sistema en su totalidad permitiendo obtener una traza completa de las modificaciones realizadas. Aunado a esto se aprecia la necesidad de un lenguaje que se especialice en la generación de programas y soporte las nuevas versiones del lenguaje Java.

### 7. Conclusiones y trabajo a futuro

La importancia de contar con un soporte de transformación de programas radica en la necesidad de implementar de manera natural, sencilla y lo más automáticamente posible nuevos requerimientos que sean necesarios a un sistema en la fase de mantenimiento de la ingeniería de software. La generación y transformación de programas bajo el enfoque Java es posible gracias a las distintas herramientas de meta-programación que se reportan; la modificación de programas aplicando LTW es de gran utilidad para implementar diversas versiones de un mismo sistema sin alterarlo, ya que los



Figura 3. Proceso de entrelazado a tiempo de carga.

cambios realizados solamente se aplican cuando se ejecuta el programa, dejando al sistema original sin modificaciones. Como trabajo a futuro se considera realizar diversas versiones de sistemas distintos para apreciar otras posibles limitantes de LTW, además de buscar un mecanismo para guardar en disco las versiones generadas.

### 8. Agradecimientos

Este trabajo cuenta con apoyo por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

### Referencias

- [1] S. D. Vermolen, G. Wachsmuth, y E. Visser, “Generating Database Migrations for Evolving Web Applications,” *GPCE’11*, vol. 47, pp. 83-92, March 2012.
- [2] Y. Li y G. S. Novak, “Generation of Geometric Programs Specified by Diagrams,” *GPCE’11*, vol. 47, pp. 63-72, March 2012.
- [3] S. Esmailsabzali, B. Fischer, y J. M. Atlee, “Monitoring aspects for the customization of automatically generated code for big-step models,” *GPCE’11*, vol. 47, pp. 117-126, March 2012.
- [4] M. Schlee y J. Vanderdonckt, “Generative Programming of graphical user interfaces,” *Working conference on Advanced visual interfaces*, New York, NY, pp. 403-406, May 2004.
- [5] G. Ofenbeck, T. Rompf, A. Stojanov, M. Odersky, y M. Puschel, “Spiral in scala: towards the systematic construction of generators for performance libraries,” *ACM SIGPLAN Notices*, Vol. 49 pp. 125-134, March 2014.
- [6] L. Passos, K. Czarnecki, S. Apel, A. Wasowski, C. Kästner, y J. Guo, “Feature-Oriented Software Evolution,” *Seventh International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems*, Pisa, Italy, pp. 17-18, January 2013.
- [7] T. Wurthinger, C. Wimmer, y L. Stadler, “Unrestricted and

- safe dynamic code evolution for Java,” *Science of Computer Programming*, Vol. 78, pp. 481-498, May 2013.
- [8] V. L. Winter y A. Mametjanov, “Generative programming techniques for Java library migration,” *6th International Conference on Generative Programming and Component Engineering*, Salzburg, Austria, pp. 185-196, October 2007.
- [9] T. Würthinger, W. Binder, D. Ansaloni, P. Moret, y H. Mössenböck, “Applications of Enhanced Dynamic Code Evolution for Java in GUI Development and Dynamic Aspect-Oriented Programming,” *ACM SIGPLAN Notices*, Vol. 46, pp. 123-126, February 2011.
- [10] C. Shigeru, “Generative programming from a post object-oriented programming viewpoint,” *International Conference on Unconventional Programming Paradigms*, Le Mont Saint Michel, France pp. 355-366, April 2005.
- [11] R. Laddad, *AspectJ in action*, Greenwich: Manning, 2009, p. 206.
- [12] S. S. Huang, D. Zook, y Y. Smaragdakis, “Domain-specific languages and program generation with meta-AspectJ”, *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, Vol. 18, pp. 1-32, November 2008.
- [13] C. Shigeru, “Javassist a reflection-based programming wizard for Java”, *OOPSLA'98 Workshop on Reflective Programming in C++ and Java*, Vancouver, Canada pp. 92-115, October 1998.
- [14] JDOM project. “JDOM [ONLINE]”, Noviembre 2014. <http://www.jdom.org/>

# Modelo para Determinar la Calidad en Objetos de Aprendizaje Integrando un Enfoque a Servicios basado en un Estudio EFA

César Eduardo Velázquez Amador, Francisco Javier Álvarez Rodríguez, Jaime Muñoz Arteaga, Juan Pedro Cardona Salas

Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias Básicas,  
Av. Universidad 940, Col. Ciudad Universitaria, Aguascalientes, Ags., México, 20100.  
[vace555@hotmail.com](mailto:vace555@hotmail.com)  
{[fjalvar](mailto:fjalvar), [jmunozar](mailto:jmunozar), [jpcardon](mailto:jpcardon)}@correo.uaa.mx

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

Los Objetos de Aprendizaje son elementos que presentan dificultades especiales al momento de su evaluación al contar simultáneamente con las características de una aplicación de software y de un elemento instruccional. Los instrumentos para determinar la calidad en Objetos de Aprendizaje por lo general consideran solo la perspectiva del experto, dejando de lado la opinión del usuario, debido a lo anterior y empleando un Estudio EFA, se propone un Modelo para Determinar la Calidad en Objetos de Aprendizaje Integrando un Enfoque a Servicios, el cual permite determinar la calidad en estos recursos instruccionales, tomando en cuenta la opinión del usuario.

*Palabras clave:* Objeto de aprendizaje, Estudio EFA, Teoría de Servicios.

---

## 1. Introducción

**E**n el presente trabajo se expone el desarrollo de un Modelo para Determinar la Calidad en Objetos de Aprendizaje Integrando un Enfoque a Servicios obtenido por medio de un Análisis Exploratorio de Factores (estudio EFA) y así mismo, se explica a detalle el Modelo obtenido. El estudio EFA se desarrolló en base a los datos originados de un instrumento para medir la percepción de la importancia de los factores relacionados a la calidad en objetos de aprendizaje inte-

grando un enfoque a servicios. No existe una definición completamente aceptada del término Objeto de Aprendizaje (OA), una definición es: "Es una entidad digital o no digital, el cual puede ser usado, reusado o referenciado durante el aprendizaje soportado por la tecnología". Existen 3 características básicas de un objeto de aprendizaje: Accesibilidad, Reusabilidad/Adaptabilidad e Interoperabilidad [1]. Los OAs son elementos que debido a su naturaleza presentan dificultades especiales al momento de su evaluación, ya que poseen tanto características de una aplicación de software como de

un elemento instruccional [2]. La tarea de la determinación de la calidad en OA se ha abordado de distintas formas, una de las más populares es el uso de instrumentos como el LORI [3], el cual permite realizar esta valoración desde la perspectiva del experto en el área, el problema que presenta esta evaluación es la falta de retroalimentación por parte del usuario. Con el objetivo de dar solución al problema anterior y de vincular estrechamente al estudiante (usuario) en la determinación de la calidad de los objetos de aprendizaje, se ha propuesto el integrar la Teoría de Servicios en la Gestión de la Calidad del OA; la cual se refiere a todo aquello que es permanente y normal en la producción de un servicio [4], entendiéndose como tal, la aplicación de competencias para el beneficio de otro, significando que un servicio es un tipo de acción, desempeño, o promesa que es intercambiada por valor entre el proveedor y el cliente [4]. En el contexto del e-learning, se puede considerar a los estudiantes como el cliente final, ya que la satisfacción con un producto/servicio educativo es una de las consecuencias del intercambio entre los sistemas de e-learning y los estudiantes [5]. El empleo de un enfoque basado en servicios en la creación de un modelo que explique la calidad en OAs, se espera brinde una mayor satisfacción al usuario, esto debido a que la evaluación los tratará no simplemente como un producto, sino como un servicio y se podrá obtener información valiosa sobre la calidad del OA de primera mano.

## 2. Materiales y métodos

Para el desarrollo del modelo se empleó el método mostrado en la Figura 1, el cual se detalla a continuación. Primeramente se efectuó una extensa búsqueda de investigaciones similares en libros, bibliotecas electrónicas, memorias de congresos, trabajos de tesis y referencias de Internet, en las que se hubiera integrado la Teoría de Servicios en la Gestión de la Calidad en el e-learning de manera general, pero dando prioridad en los trabajos del área de Objetos de Aprendizaje. Los artículos más relevantes encontrados fueron: Learners acceptance of e-learning in South Korea: Theories and results [6], E-S-QUAL A Multiple-Item Scale for Assessing Electronic Service Quality [7], Satisfaction with online learning: A comparative descriptive study [8], The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update [9]; en estos estudios se aborda la Calidad del Servicio en el e-learning y en los servicios electrónicos; en la búsqueda de trabajos similares no se encontraron investigaciones sobre calidad en el servicio específicamente en el uso de objetos de apren-

dizaje. Dentro de los estudios base resalta el empleo del E-S-QUAL [7] el cual permite medir la calidad del servicio electrónico, este instrumento es a su vez una adaptación del SERVQUAL [10], también desarrollado por Parasuraman. En base a la literatura, se desarrolló un instrumento para determinar la percepción de la importancia que tienen los factores que se proponen como determinantes de la calidad en OAs considerando un enfoque a servicios. La integración del enfoque a servicios en el instrumento se logró considerando las preguntas para conocer la opinión sobre los factores de: Interés (El grado de preocupación que se manifiesta por un desempeño educativo adecuado), Soporte (Es la ayuda proporcionada al estudiante al encontrarse con un problema técnico o pedagógico) y Personalización (Es la capacidad de adaptar el OA a las necesidades del estudiante). Resulta importante señalar que la propuesta realizada se encuentra pensada para aplicarse en objetos de aprendizaje de tipo agregado (granularidad gruesa), en los cuales se integren distintas actividades de aprendizaje, evaluación y colaboración. El instrumento desarrollado consta de 40 preguntas pertenecientes a 17 categorías de variables operacionales (Tabla 1). Para determinar la percepción de la importancia de cada factor se empleó una escala de Likert de 7 puntos, correspondiendo el 7 a completamente importante y el 1 a completamente no importante.

Se aplicó el instrumento desarrollado para determinar la percepción de la importancia que tienen los factores que se proponen como determinantes de la calidad en OAs a finales del 2011 a 41 estudiantes de quinto semestre de la carrera de Ingeniero en Sistemas Computacionales y a 59 estudiantes de primero, quinto y séptimo semestre de la carrera de Licenciado en Tecnologías de Información de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. De igual forma participaron profesores de diversas instituciones con amplia experiencia en el desarrollo y uso de OAs para dar un total de 105 participantes (Tabla 2). Los resultados se capturaron y analizaron con las herramientas Statistica for Windows 5.1 y el SPSS ver 12. Para la aplicación del instrumento era necesario tener la seguridad de que el estudiante tuviera el conocimiento de que son los Objetos de Aprendizaje, para lo cual previamente se realizó una presentación sobre el tema, aún cuando el estudiante ya hubiera trabajado previamente con OAs.

## 3. Resultados y discusión

Previamente al estudio EFA, se aplicó un estudio de correlación sobre los datos obtenidos; del estudio realizado sobre todas las variables se encontró una co-

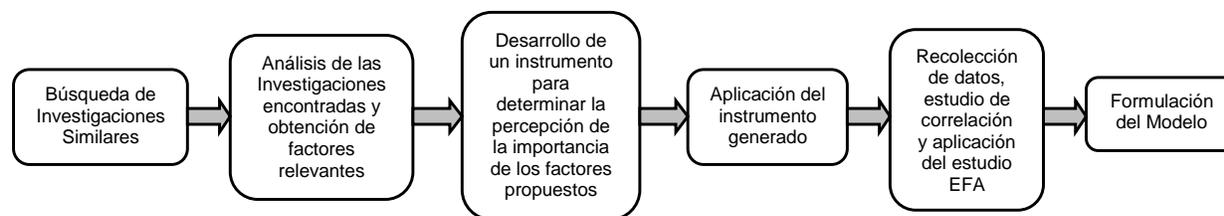


Figura 1. Método empleado en la investigación

relación positiva entre una gran cantidad de las mismas. Los resultados del estudio de correlación son parte del sustento necesario para realizar el estudio EFA, por medio del cual se puede comenzar con la validación estadística del modelo propuesto (es necesario encontrar una correlación entre algunas de las variables para justificar un estudio EFA). Para realizar todas las corridas del análisis de factores, se empleó la herramienta Statistica for Windows 5.1, se seleccionó el método de extracción de Factores Principales por Comunidades con una carga de factores de 0.45 y se usó el método de rotación de Varimax Normalizada. Después de tres corridas resultaron 4 factores. Los resultados obtenidos del Estudio EFA pueden observarse en la Tabla 3. Con relación a los eigenvalores, un valor superior o igual a 1 indica consistencia en el factor [11], por lo que, tanto los factores 1, 2, 3 y 4 presentan una consistencia suficien-

te para considerarse factores en el estudio EFA. En lo que respecta a la varianza acumulada, se tiene que un porcentaje de varianza total acumulada de 42.72 indica que los cuatro factores en su conjunto consiguen expli-

Tabla 1. Categorías de Variables Operacionales

Categorías de variables operacionales	Número de preguntas
Tiempo de respuesta	3
Usabilidad	3
Fiabilidad	1
Disponibilidad	1
Organización	1
Integridad	8
Facilidad de comprensión	3
Relevancia	1
Elementos Estéticos	1
Interés	2
Soporte (Ayuda)	3
Personalización	1
Seguridad	2
Gozo	3
Calidad Percibida del OA	4
Calidad Percibida del Servicio	1
Satisfacción Obtenida	2
<b>Total</b>	<b>40</b>

Tabla 2. Participantes de la investigación

Tipo de participante	Cantidad
Ingeniero en Sistemas Computacionales	41
Licenciado en Tecnologías de Información	59
Profesores de Diversas Instituciones	5

Tabla 3. Resultados del estudio EFA

Número de Pregunta y Categoría de la Variable Operacional	F1	F2	F3	F4
22.- Elementos Estéticos	0.48	-0.04	0.16	0.00
23.- Interés (1)	0.60	0.05	0.12	0.14
24.- Interés (2)	0.60	-0.07	0.17	0.15
25.- Soporte (1)	0.59	0.29	0.08	0.13
26.- Soporte (2)	0.69	0.15	0.10	0.11
27.- Soporte (3)	0.57	0.24	0.03	-0.04
28.- Personalización	0.56	0.01	0.16	0.15
29.- Seguridad (1)	0.66	-0.14	0.00	0.38
30.- Seguridad (2)	0.58	0.02	0.12	0.17
31.- Gozo (1)	0.55	0.23	0.11	-0.18
32.- Gozo (2)	0.52	0.26	-0.05	0.01
33.- Gozo (3)	0.49	0.14	0.16	-0.06
35.- Calidad Percibida del OA (2)	0.48	0.21	0.11	-0.06
1.- Tiempo de respuesta (1)	0.02	0.50	0.37	0.08
2.- Tiempo de respuesta (2)	0.21	0.52	0.09	0.15
3.- Tiempo de respuesta (3)	0.09	0.56	0.03	0.22
5.- Usabilidad (2)	0.02	0.60	-0.01	0.25
6.- Usabilidad (3)	0.02	0.63	0.06	0.08
7.- Fiabilidad	0.04	0.48	0.00	0.08
9.- Organización	-0.01	0.51	0.27	0.49
16.- Integridad (7)	0.22	0.61	-0.00	0.03
17.- Integridad (8)	0.12	0.52	0.11	-0.22
34.- Calidad Percibida del OA (1)	0.45	0.54	0.05	-0.30
37.- Calidad Percibida del OA (4)	0.37	-0.01	0.51	0.27
38.- Calidad Percibida del Servicio	0.13	0.08	0.78	0.09
39.- Satisfacción Obtenida (1)	0.19	0.14	0.76	-0.03
40.- Satisfacción Obtenida (2)	0.38	0.10	0.58	0.00
8.- Disponibilidad	0.01	0.23	0.05	0.51
15.- Integridad (6)	0.39	0.15	0.00	0.51
<b>Alfa de Cronbach</b>	<b>0.86</b>	<b>0.82</b>	<b>0.79</b>	<b>NC</b>
<b>Eigenvalor</b>	<b>7.24</b>	<b>2.61</b>	<b>1.60</b>	<b>1.34</b>
<b>Eigenvalor Acumulado</b>	<b>7.24</b>	<b>9.86</b>	<b>11.46</b>	<b>12.81</b>
<b>Varianza total</b>	<b>24.15</b>	<b>8.73</b>	<b>5.34</b>	<b>4.49</b>
<b>Varianza total Acumulada</b>	<b>24.15</b>	<b>32.88</b>	<b>38.22</b>	<b>42.72</b>

car un 42.72De los resultados obtenidos con el Alfa de Cronbach, se concluye que tanto el Factor 1 (Alfa = 0.86) como el Factor 2 (Alfa = 0.82) presentan resultados meritorios de fiabilidad, y el Factor 3 (Alfa = 0.79) presenta una alta fiabilidad [11]. En lo concerniente al Alfa de Cronbach del Factor 4 (NC.- no calculable), resultó no calculable, debido a que se integró solo de dos variables. Conforme a los resultados obtenidos con el Alfa de Cronbach, los cuales son superiores a 0.60 se tiene una fiabilidad aceptable para un estudio exploratorio [6, 10].

### 3.1. Modelo Resultado del Estudio EFA

Como resultado del estudio EFA se obtuvieron 4 factores, a los cuales se les asignó un nombre que fuera representativo de las variables que terminaron agrupando, la conformación de los constructores del modelo resultado del estudio EFA quedó de la siguiente forma:

**Factor 1.-** Calidad de Diseño del OA. Este factor se conforma de las siguientes categorías de variables operacionales:

- Elementos estéticos
- Interés
- Soporte
- Personalización
- Seguridad
- Gozo
- Calidad Percibida del OA

**Factor 2.-** Calidad de Desempeño (Performance). Este factor se conforma de las siguientes categorías de variables operacionales:

- Tiempo de respuesta
- Usabilidad
- Fiabilidad
- Organización
- Integridad
- Calidad Percibida del OA

**Factor 3.-** Evaluación Global del OA. Este factor se conforma de las siguientes categorías de variables operacionales:

- Calidad Percibida del OA

- Calidad Percibida del Servicio
- Satisfacción Obtenida

**Factor 4.-** Calidad de Cumplimiento del OA. Este factor se conforma de las siguientes categorías de variables operacionales:

- Disponibilidad
- Integridad

Después de aplicar el estudio EFA se mantuvieron 29 preguntas (fueron eliminadas 11) y quedaron 15 categorías de variables operacionales. Las categorías de variables operacionales que desaparecieron fueron: Facilidad de Comprensión (con 3 preguntas) y Relevancia (con 1 pregunta). Las variables operacionales que redujeron sus preguntas fueron: Usabilidad (se redujo 1 pregunta), Integridad (se redujeron 5 preguntas) y Calidad Percibida el OA (se redujo 1 pregunta). En base a los resultados del Estudio EFA, se propone la ordenación de los factores en la forma mostrada en la Figura 2, la cual constituye el Modelo Resultado del Estudio EFA. Un resultado adicional producto de la investigación de la teoría base, fue el encontrar que la integración de la teoría de servicios comprende la determinación de la satisfacción del estudiante y esto puede hacerse por medio de una adaptación del SERVQUAL.

### 4. Conclusión

Como resultado del estudio se obtuvo un modelo resultado del estudio EFA, el cual se conformó de los constructores: Calidad de Diseño del OA, Calidad de Desempeño (Performance), Calidad de Cumplimiento del OA

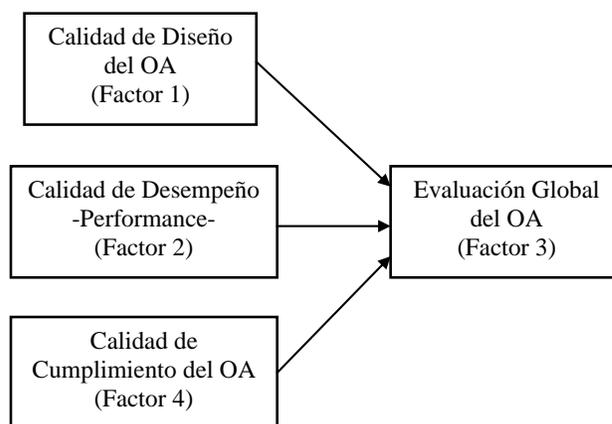


Figura 2. Modelo Resultado del Estudio EFA.

del OA y Evaluación Global del OA. La importancia de la propuesta radica en la posibilidad de integrar en la evaluación de los OAs la satisfacción del usuario, lográndose con esta retroalimentación del estudiante conocer algunos aspectos que pueden escapar a la vista del evaluador, todo con miras a obtener mejores recursos instruccionales. Adicionalmente, se llegó a la conclusión de que la calidad en OAs se puede abordar desde la perspectiva de la teoría de servicios considerando factores como el Interés, el Soporte y la Personalización, y por medio de la determinación de la satisfacción del estudiante, esto último puede hacerse empleando una adaptación del SERVQUAL. Como estudio futuro se tiene contemplado continuar con estudios comprobatorios. Se tiene planeada la aplicación de instrumentos para determinar la satisfacción esperada, la satisfacción obtenida y la calidad percibida empleando objetos de aprendizaje, el análisis de estos resultados se espera permitirá hacer también una Validación por Prueba de Concepto de Construcción de Artefacto [12].

Tipo Conductual o Tipo Diseño, Versión 3.5, , Departamento de Sistemas de Información, Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2009.

## Referencias

- [1] J. Aguilar, J. Zechinelli y J. Muñoz, "Hacia la creación y administración de repositorios de objetos de aprendizaje," IV Congreso Internacional de Ciencias de la Computación, ENC 2003, México, 2003.
- [2] C.E. Velázquez, J. Muñoz Arteaga, F.J. Álvarez Rodríguez y L. Garza González, "La Determinación de la Calidad de Objetos de Aprendizaje," VII Encuentro Internacional de Ciencias de la Computación ENC 2006, pp. 346-351, 2006.
- [3] R. J. Nesbit, K. Belfer y T. Leacock, Learning Object Review Instrument (LORI), User Manual, E-Learning Research and Assessment Network, 2003.
- [4] J. Spohrer, P.P. Maglio, J. Bayley y D. Gruhl, "Steps Toward a Science of Service Systems," IEEE Computer Society, 2007, pp. 71-77.
- [5] L.H. Chen y C. Lin, "Integrating Kano's model into E-learning satisfaction, Industrial Engineering and Engineering Management," 2007 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE, pp. 297-301, 2007.
- [6] L. Byoung-Chan, Y. Jeong-Ok y L. In, "Learners acceptance of e-learning in South Korea: Theories and results," Computers and Education, 53(4), pp. 1320-1329, 2009.
- [7] A. Parasuraman, V.A. Zeithaml y A. Malhotra, "e-S-QUAL: a multiple-item scale for assessing electronic service quality," Journal of Service Research, 7(3), pp. 213-33, 2005.
- [8] V. Roach y L. Lemasters, "Satisfaction with online learning: A comparative descriptive study," Journal of Interactive Online Learning, 5 (3), pp. 317-332, 2006.
- [9] W.H. DeLone y E.R.T. Mclean, "The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update," Journal of Management Information Systems, 19(4), pp. 9-30, 2003.
- [10] A. Parasuraman, V.A. Zeithaml y L.L. Berry, "A conceptual model of service quality and its implication," Journal of Marketing, 49, Fall 1985, pp. 41-50.
- [11] A. Pardo y M. Ruiz, SPSS 11, Guía para el análisis de datos, Primera edición, Mc Graw Hill, España, 2002.
- [12] M. Mora, Descripción del Método de Investigación Conceptual:

# Desarrollo de una Plataforma de Simulación Basada en el Robot Antropomórfico K-680

Dulce Isabel González Romero, Pablo Sánchez Sánchez, Josefina Castañeda Camacho

*Benémrita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Electrónica.*

*Av. San Claudio y 18 Sur, Puebla, Pue., México, 72592.*

*[dglez.romero@gmail.com](mailto:dglez.romero@gmail.com), [lepable@yahoo.com.mx](mailto:lepable@yahoo.com.mx), [josefinacastaneda@ece.buap.mx](mailto:josefinacastaneda@ece.buap.mx)*

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

El objetivo principal del artículo es presentar una plataforma gráfica de simulación que brinde las herramientas necesarias para observar el comportamiento de un robot antes dos diferentes leyes de control. Esta interfaz le permite a los usuarios interactuar con un robot tridimensional basado en el robot K-680 de Steren<sup>®</sup>, y observar a través de gráficos tridimensionales la respuesta del robot ante cada ley de control. La obtención del modelo dinámico y el análisis de estabilidad se presentan con el debido rigor matemático.

*Palabras clave:* Simuladores, Robot Antropomórfico K-680, Control PID, Control PD con compensación de gravedad.

---

## 1. Introducción

El uso de los simuladores en el área de la robótica permite modificar, en base a la observación de los resultados, los parámetros necesarios para evaluar y obtener información que permita su implementación en una planta real. Hoy en día el software usado para diseñar simuladores es variado, y la elección depende de los requerimientos del usuario. Su aplicación se enfoca, en gran medida al uso académico, ya que permiten estudiar varios tipos de respuestas, sin necesidad de adquirir un robot físico. La exactitud de los datos que un simulador entrega depende de la descripción matemática del modelo permitiendo facilitar una aplicación física. Por lo cual el software que se utilice debe de

tener las herramientas necesarias para un análisis físico. El uso de softwares de diseño facilitan esta tarea, entregando no solo datos fiables, si no también permitiendo tener una imagen 3D, lo cual proporciona la percepción de movimiento.

El análisis de los datos se realizan en plataformas matemáticas, por la necesidad de representar de forma gráfica todas las variables, entonces resulta primordial la comunicación entre las dos plataformas, esto para generar un simulador más robusto y completo.

Este artículo está organizado de la siguiente forma: en la segunda sección se aborda la obtención del modelo dinámico. Las estructuras de control se presentan en la tercera sección, mientras que el desarrollo del simulador se describe en la sección 4. Finalmente en la

última sección se presentan algunas conclusiones.

## 2. Modelo Dinámico

En la figura 1 se presenta el robot, el cual se describirá matemáticamente.



Figura 1. Robot antropomórfico

Se debe considerar que, el modelo dinámico de un robot de  $n$  grados de libertad consiste en una ecuación diferencial ordinaria vectorial, generalmente de segundo orden, en las posiciones articulares o cartesianas. Uno de los procedimientos más empleados, el basado en las *Ecuaciones de movimiento de Lagrange*.

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{\partial \mathcal{L}(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}_i} \right] - \frac{\partial \mathcal{L}(q, \dot{q})}{\partial q_i} = \tau_i \quad (1)$$

donde  $\mathcal{L}(q, \dot{q})$  es el Lagrangiano, el cual está definido como la energía cinética  $\mathcal{K}(q, \dot{q})$  y la potencial  $\mathcal{U}(q)$ :

$$\mathcal{L}(q(t), \dot{q}(t)) = \mathcal{K}(q(t), \dot{q}(t)) - \mathcal{U}(q(t)) \quad (2)$$

Al aplicar la ecuación de movimiento de Euler-Lagrange se obtiene como resultado el modelo dinámico del sistema. El modelo dinámico es la representación matemática del sistema que describe su comportamiento a cualquier estímulo, sea interno o externo. El modelo dinámico para un robot de  $n$  grados de libertad está definido como [1, 2]:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau \quad (3)$$

donde  $q, \dot{q}, \ddot{q}$  son la posición, velocidad y aceleración articular, respectivamente.  $M(q)$  es la matriz de masas

e inercias,  $C(q, \dot{q})$  es la matriz de Coriolis y fuerza centrífuga,  $g(q)$  es el par gravitacional y  $\tau$  es el par aplicado.

## 3. Control de posición

La obtención del modelo de energía, es de gran relevancia gracias a la información que proporciona, haciendo posible aplicar una ley de control que permita posicionar el robot en las coordenadas articulares deseadas. Uno de los objetivos principales del simulador es cumplir con el objetivo de control de posición, el cual consiste en determinar una función vectorial  $\tau$  a través de la aplicación de la ecuación dinámica de un robot de  $n$  grados de libertad y dada una posición articular deseada  $q_d$  que se supone constante, de forma que las posiciones  $q$  asociadas a las coordenadas articulares del robot lleguen asintóticamente a la coordenada deseada.

A continuación se presenta la demostración y la justificación del uso del control PD con compensación de gravedad y del control PID, así como los resultados generados al aplicar cada ley de control en el robot virtual.

### 3.1. Control PD con compensación de gravedad

La ley de control PD con compensación de gravedad está representada por [1, 3]:

$$\tau = K_p \tilde{q} - K_v \dot{\tilde{q}} + g(q) \quad (4)$$

donde  $K_p$  y  $K_v \in R^{n \times n}$  son matrices simétricas definidas positivas que representan la ganancia proporcional y derivativa, respectivamente. La ecuación (4) demuestra la necesidad del conocimiento previo del modelo dinámico del robot, ya que es fundamental el uso del par gravitacional  $g(q)$ .

Sustituyendo el control PD en la ecuación (3), que representa el modelo de energía, se obtiene:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = K_p \tilde{q} - K_v \dot{\tilde{q}} + g(q) \quad (5)$$

donde el par gravitacional se puede eliminar dada su igualdad. Para saber si la ecuación que describe la ley de control es aceptable, se procede a estudiar la estabilidad de los puntos de equilibrio del sistema. Empleando el teorema de Lyapunov, se considera la siguiente función candidata [1, 3]:

$$V(\tilde{q}, \dot{\tilde{q}}) = \mathcal{K}(q, \dot{q}) + \frac{1}{2} \tilde{q}^T K_p \tilde{q} \quad (6)$$

donde la energía cinética  $\mathcal{K}(q, \dot{q})$  es definida positiva en  $\dot{q}$  y además  $K_p$  es una matriz definida positiva en  $\tilde{q}$ , provocando que la función candidata de Lyapunov, también sea definida positiva  $V(\tilde{q}, \dot{q}) > 0$ . [1, 4]

Considerando la ecuación (7), la función candidata, se puede representar como se muestra en la ecuación (8) [1, 3]:

$$K(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} \dot{q}^T M(q) \dot{q} \quad (7)$$

$$V(\tilde{q}, \dot{q}) = \frac{1}{2} \dot{q}^T M(q) \dot{q} + \frac{1}{2} \tilde{q}^T K_p \tilde{q} \quad (8)$$

cuya derivada temporal, ecuación (9), se puede reescribir sustituyendo la variable de estado  $\ddot{q}$  (10) y realizando el álgebra necesaria, obteniendo la ecuación (11)

$$\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}) = \tilde{q}^T K_p \dot{\tilde{q}} + \dot{q}^T M(q) \ddot{q} + \frac{1}{2} \dot{q}^T \dot{M}(q) \dot{q} \quad (9)$$

$$\ddot{q} = M(q)^{-1} [K_p \tilde{q} - K_v \dot{q} - C(q, \dot{q}) \dot{q}] \quad (10)$$

$$\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}) = -\dot{q}^T K_v \dot{q} - \frac{1}{2} \dot{q}^T [\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})] \dot{q} \quad (11)$$

Ahora, teniendo en cuenta la propiedad de simetría:

$$\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q}) = 0 \quad (12)$$

Se obtiene la derivada temporal resultante de la función candidata, presentada a continuación:

$$\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}) = -\dot{q}^T K_v \dot{q} \quad (13)$$

Demostrando que la función candidata de Lyapunov cumple con ser definida positiva  $V(\tilde{q}, \dot{q}) > 0$ , continuamente diferenciable  $V(\tilde{q}, \dot{q}) \in C^{\mathcal{K}}$  y además su derivada temporal es semidefinida negativa  $\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}) \leq 0$ , por lo tanto se dice que el origen es estable en el sentido de Lyapunov.[1, 4, 5]

### 3.2. Control PID

Con el propósito de satisfacer el objetivo de control y más aún 'para intentar llevar a cero el error de posición sin necesidad de proponer ganancias relativamente grandes, como en el control PD, se ha añadido una componente integral, justificado el uso del control

Proporcional-Integral-Derivativo (PID). La ley de control PID puede expresarse de la siguiente manera [1]:

$$\tau = K_p \tilde{q} + K_v \dot{\tilde{q}} + K_i \int_0^t \tilde{q}(\sigma) d\sigma \quad (14)$$

Ya que  $q_d$  es constante, se establece la existencia y unicidad del punto de equilibrio para la ecuación de malla cerrada [1].

$$M(q) \ddot{q} + C(q, \dot{q}) \dot{q} + g(q) = K_p \tilde{q} - K_v \dot{q} + K_i \xi \quad (15)$$

donde  $\xi = \tilde{q}$ . El punto de equilibrio del sistema está localizado en [1]:

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \tilde{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_i^{-1} g(q_d) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Para facilitar el estudio de la estabilidad en el sentido de Lyapunov, es necesario hacer una serie de cambios de variable, el primer cambio de variable reubicará el punto de equilibrio colocándolo en el origen, esto es [1]:

$$z = \xi - K_i^{-1} g(q_d) \quad (17)$$

Por lo tanto la ecuación de malla cerrada representada en términos del vector de estados y considerando el anterior cambio de variable, se presenta como:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} z \\ \tilde{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{q} \\ -\dot{q} \\ M(q)^{-1} [K_p \tilde{q} - K_v \dot{q} + K_i z + g(q_d) - C(q, \dot{q}) \dot{q} - g(q)] \end{bmatrix} \quad (18)$$

Se puede observar que la ecuación anterior es autónoma y su único equilibrio se encuentra en el origen. Prosiguiendo con el análisis de estabilidad se propone el siguiente cambio de variable, considerando  $\alpha > 0$  [1]:

$$\begin{bmatrix} \omega \\ \tilde{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha I & I & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \tilde{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Con lo que se puede presentar la nueva forma de la ecuación de malla cerrada.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \omega \\ \tilde{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha\tilde{q} - \dot{q} \\ -\dot{q} \\ M(q)^{-1}[(K_p - \frac{1}{2}K_i)\tilde{q} - K_v\dot{q} + \frac{1}{2}K_i\omega + g(q_d) - C(q,\dot{q})\dot{q} - g(q)] \end{bmatrix} \quad (20)$$

Para aplicar el teorema de estabilidad de Lyapunov, se propone la siguiente función candidata, la cual debe cumplir con ser definida positiva [1]:

$$V(\tilde{q}, \dot{q}, \omega) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \omega \\ \tilde{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \frac{1}{\alpha}K_i & 0 & 0 \\ 0 & \alpha K_i & -\alpha M(q) \\ 0 & -\alpha M(q) & M(q) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ \tilde{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} + \frac{1}{2}\tilde{q}^T(K_p - \frac{1}{\alpha}K_i)\tilde{q} + \mathcal{U}(q_d - \tilde{q}) - U(q_d) + \tilde{q}^T g(q_d) \quad (21)$$

donde

$$\frac{1}{2}\tilde{q}^T(K_p - \frac{1}{\alpha}K_i)\tilde{q} + \mathcal{U}(q_d - \tilde{q}) - U(q_d) + \tilde{q}^T g(q_d) \quad (22)$$

es definida positiva en  $\tilde{q}$  sí [1]:

$$\lambda_{\min}\left\{K_p - \frac{1}{\alpha}K_i\right\} > K_g \quad \text{con} \quad K_g \geq \left\| \frac{\partial g(q)}{\partial q} \right\| \quad (23)$$

Para el caso del primer término de la función candidata:

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \omega \\ \tilde{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \frac{1}{\alpha}K_i & 0 & 0 \\ 0 & \alpha K_i & -\alpha M(q) \\ 0 & -\alpha M(q) & M(q) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ \tilde{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Si  $\alpha$  es condicionada a cumplir la desigualdad denotada en la ecuación (25), entonces  $V(\tilde{q}, \dot{q}, \omega)$  es definida positiva en forma global y radialmente no acotada [1].

$$\frac{\lambda_{\min}\{M(q)\}\lambda_{\min}\{K_v\}}{\lambda_{\max}^2\{M(q)\}} \quad (25)$$

La derivada temporal de la función candidata de Lyapunov se presenta en la ecuación (26), la cual cumple con ser semidefinida negativa.

$$\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}, \omega) = -\dot{q}^T [K_v - \alpha M(q)]\dot{q} - \tilde{q}^T [\alpha K_p - K_i]\tilde{q} - \alpha\tilde{q}^T C(q, \dot{q})^T \dot{q} - \alpha\tilde{q}^T [g(q_d) - g(q)] \quad (26)$$

Por lo tanto el punto de equilibrio del sistema es estable según el criterio de estabilidad de Lyapunov [1, 3, 4].

### 3.3. Sintonización de ganancias

Para el caso del control PD se propone la matriz que contiene las ganancias proporcionales para el sistema, para hacer la sintonización y definir la matriz  $K_v$  se utiliza la ecuación (27)

$$K_v = 2\sqrt{K_p} \quad (27)$$

Las matrices deben de ser definidas positivas según el criterio de Sylvester. Para facilitar la definición de las matrices  $K_p$ ,  $K_v$  y  $K_i$  en el control PID, se debe considerar las ecuaciones (28) y (29)

$$\lambda_{\min}\{K_p\} > k_g \quad (28)$$

$$\frac{\lambda_{\min}\{M(q)\}\lambda_{\min}\{K_v\}}{\lambda_{\max}^2\{M(q)\}} > \alpha > \frac{\lambda_{\max}\{K_i\}}{\lambda_{\min}\{K_p\} - k_g} \quad (29)$$

A partir de las ecuaciones anteriores se puede obtener un proceso de sintonización en términos de los valores propios de las matrices de ganancia, que se denota de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \lambda_{\max}\{K_i\} \geq \lambda_{\min}\{K_i\} &> 0 \\ \lambda_{\max}\{K_p\} \geq \lambda_{\min}\{K_p\} &> k_g \\ \lambda_{\max}\{K_v\} \geq \lambda_{\min}\{K_v\} &> \frac{\lambda_{\max}\{K_i\}}{\lambda_{\min}\{K_p\} - k_g} \cdot \frac{\lambda_{\max}^2\{M(q)\}}{\lambda_{\min}\{M(q)\}} \end{aligned} \quad (30)$$

## 4. Simulador

Para implementar este simulador y proponer las dos leyes de control, además de su descripción matemática, es necesario conocer los parámetros físicos (longitudes, masas e inercia) de cada uno de los elementos del robot. Para lo cual se hace uso de un software de diseño y de herramientas de análisis mecánico.

### 4.1. Diseño CAD

El diseño del sistema mecánico es parte fundamental no sólo para el modelado matemático, sino también para el armado de la estructura física. El diseño del robot antropomórfico es realizado en SolidWorks con la finalidad de obtener las características físicas del sistema y facilitar la comunicación con MATLAB, la Figura (1) muestra el diseño final. Los parámetros físicos del robot, se obtienen a través de un análisis de elemento finito en SolidWorks, los datos más relevantes se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros físicos del robot

	Masa (kg)	Inercia (kg * m <sup>2</sup> )	Posición C <sub>m</sub> (cm)
Base	0.203155	I <sub>x</sub> = 2.376 I <sub>y</sub> = 6.923 I <sub>z</sub> = 6.241	x = -2.23 y = 1.13 z = -0.01
Primer eslabón	0.02433	I <sub>x</sub> = 0.108 I <sub>y</sub> = 0.383 I <sub>z</sub> = 0.459	x = 0.19 y = -2.03 z = -0.01
Segundo eslabón	0.04339	I <sub>x</sub> = 0.137 I <sub>y</sub> = 0.890 I <sub>z</sub> = 0.829	x = 0.72 y = 0.24 z = -0.03
Efecto final	0.02698	I <sub>x</sub> = 0.169 I <sub>y</sub> = 0.243 I <sub>z</sub> = 0.123	x = 0.00 y = -1.34 z = -0.90

Para aplicar las estructuras de control considerando las matrices propuestas en la sección anterior, se utiliza las herramientas proporcionadas por Simulink, siendo necesario obtener la posición, velocidad y aceleración de cada uno de los motores representados por un bloque rotacional, y a su vez aplicar el torque requerido para realizar el movimiento deseado. El simulador proporciona las gráficas relacionadas a la posición, al error de posición y al torque requerido para cada una de las uniones angulares, además de una visualización del robot virtual en tiempo real. Para mostrar su funcionamiento se proponen las siguientes posiciones angulares:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 90^\circ \\ 25^\circ \\ -40^\circ \\ 55^\circ \end{bmatrix} \quad (31)$$

Matlab permite generar herramientas de visualización, modificar velocidad y generar un archivo tipo .AVI, entre otras cosas. A continuación se presentan las gráficas del comportamiento del sistema obtenidas del simulador al aplicar la ley de control PD con compensación de gravedad, las figuras 2, 3, 4 y 5 muestran la posición y error de posición de las articulaciones del robot antropomórfico, respectivamente.

Los resultados obtenidos de la posición y el error de posición con respecto a las tres articulaciones al aplicar el control PID se presentan en las figuras 6, 7, 8 y 9

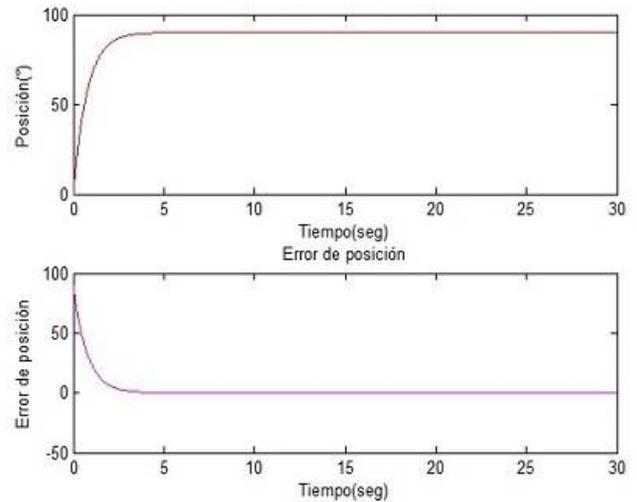


Figura 2. Posición y error de posición (base)

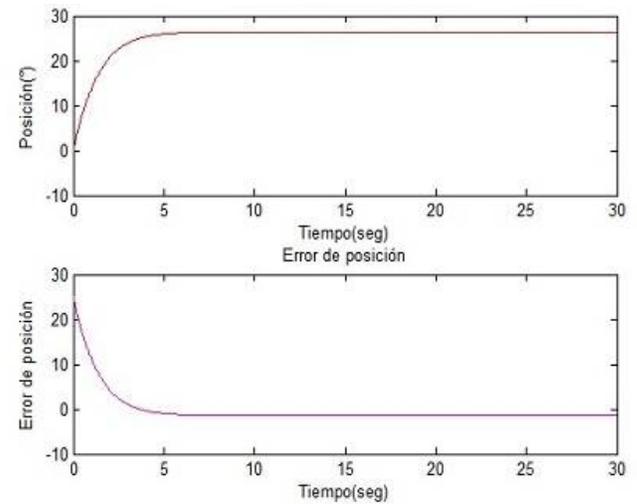


Figura 3. Posición y error de posición (primer eslabón)

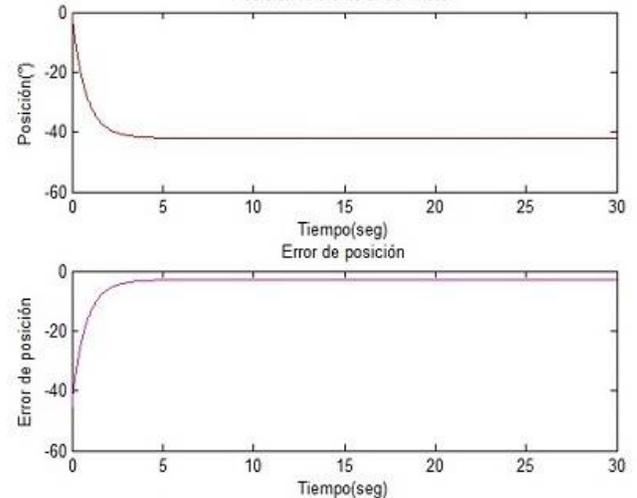


Figura 4. Posición y error de posición (segundo eslabón)

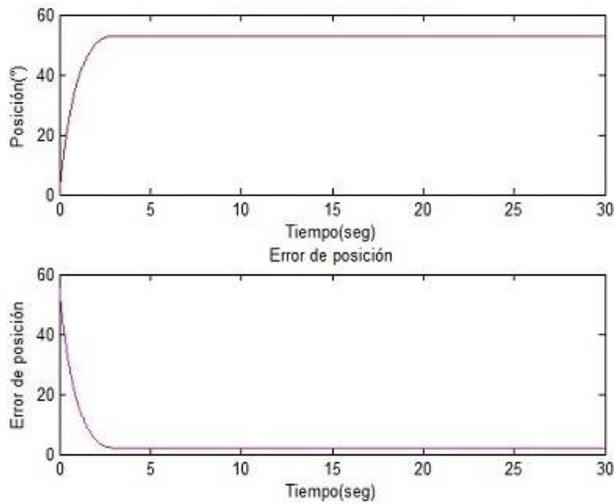


Figura 5. Posición y error de posición (efector final)

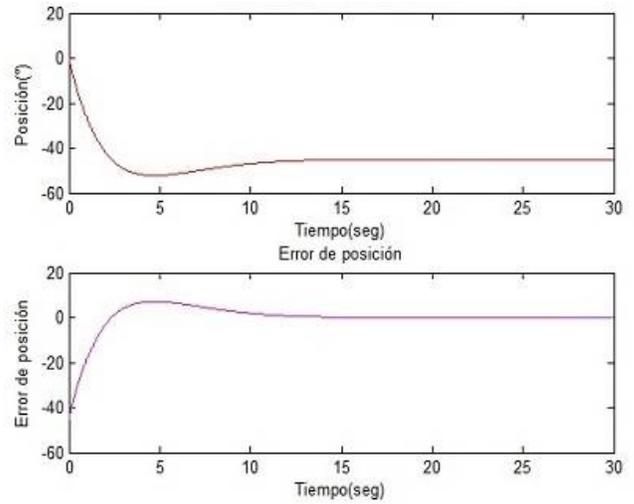


Figura 8. Posición y error de posición (segundo eslabón)

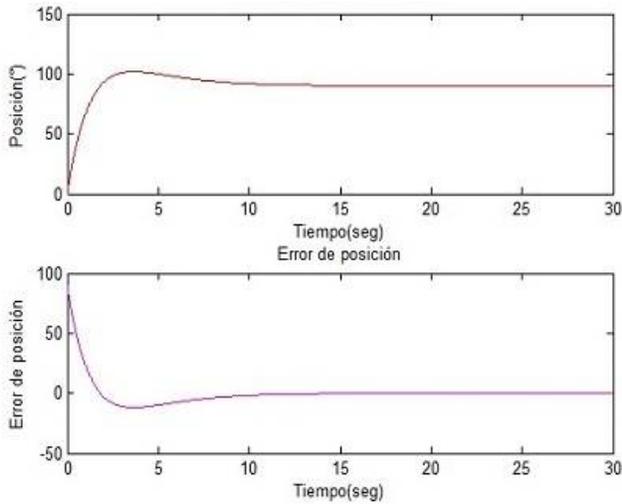


Figura 6. Posición y error de posición (base)

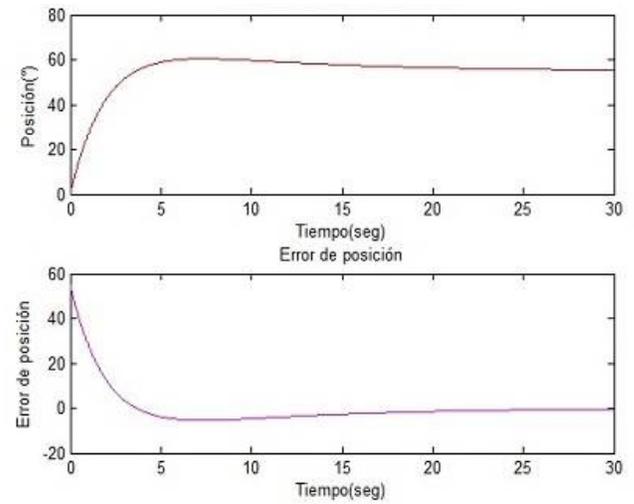


Figura 9. Posición y error de posición (efector final)

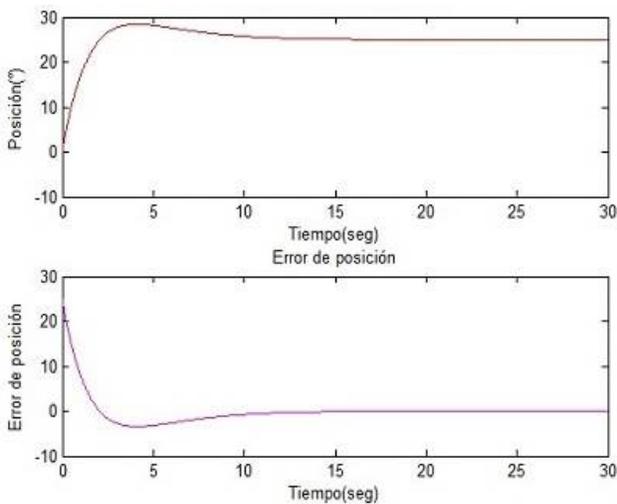


Figura 7. Posición y error de posición (primer eslabón)

### 5. Conclusiones

El uso de SolidWorks para la creación de elementos tridimensionales usados en Matlab para realizar la visualización gráfica del robot proporciona un ambiente realista, los datos necesarios para corroborar la similitud del modelo con la planta real, permitiendo modificar a conciencia cada una de las piezas y ensambles asegurando la exactitud del diseño. La comunicación que se establece con Matlab permite la manipulación de todos los parámetros físicos obtenidos en SolidWorks.

El simulador desarrollado entrega la información necesaria para el estudio del sistema permitiendo realizar el proceso de sintonización de ganancias ayudando a diferenciar de manera gráfica la respuesta ante una ecuación de control específica. Considerando que adquirir un robot, modificarlo e implementar cualquier tipo de control requiere de tiempo y recursos económicos,

se hace indispensable una simulación previa del sistema y del control que se desea implementar de forma física.

## Referencias

- [1] R. Kelly and V. Santibañez. *Control de Movimiento de Robots Manipuladores*, 1era Edición Pearson-Prentice Hall, 2003, ISBN 8420538310.
- [2] A. Barrientos, L. Peñin, C. Balaguer and A. Santoja. *Fundamentos de Robótica*, 2da Edición McGraw Hill, 2007, ISBN 8448156366
- [3] M. Spong and M. Vidyasagar. *Robot Dynamics and control*, 1era Edición Jhon Wiley and Sons, 1989, ISBN 047161243X
- [4] H. Khalil. *Nonlinear Systema*, 3era Edición Prentice Hall, 1996, ISBN 0130673897
- [5] J. J. Slotine and W. Li. *Applied Nonlinear Control* 2da Edición Prentice Hall, 1991, ISBN 0130408905

# Herramienta Didáctica de Representación Visual como Apoyo en el Aprendizaje del Álgebra Relacional

J. Andrés Sandoval Bringas, Margarito Martínez Solís, Mónica A. Carreño León, Italia Estrada Cota, Alejandro Leyva Carrillo

Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Sistemas Computacionales.  
Carretera al Sur Km. 5.5, La Paz, B.C.S., México, 23080

[sandoval@uabcs.mx](mailto:sandoval@uabcs.mx), [margaritomsl@uabcs.mx](mailto:margaritomsl@uabcs.mx), [mcarreno@uabcs.mx](mailto:mcarreno@uabcs.mx), [iestrada@uabcs.mx](mailto:iestrada@uabcs.mx), [aleyva@uabcs.mx](mailto:aleyva@uabcs.mx)

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

En este artículo se presenta el prototipo de una herramienta interactiva que permite a estudiantes de cursos básicos de bases de datos, diseñar consultas en álgebra relacional, de manera asistida mediante una computadora, y verificar visualmente el funcionamiento y desempeño de las mismas. El estudio de bases de datos es considerado a la vez esencial y complejo para los alumnos que se encuentran estudiando una carrera en las áreas de informática y computación. Aprender a diseñar consultas en un lenguaje abstracto es un proceso difícil. La experiencia ha demostrado que los alumnos tienen dificultad para conocer cuándo las consultas expresadas en papel en términos del álgebra relacional son correctas y responden a los requisitos de información planteados.

*Palabras clave:* Herramienta Didáctica, Álgebra Relacional, Software Educativo.

---

## 1. Introducción

Para los alumnos que se encuentran estudiando una carrera en las áreas de computación y de informática, uno de los temas más importantes es el estudio relacionado con las bases de datos. Esto debido a que garantizan la persistencia de la información que se requiere para el desarrollo de una aplicación, además de que permiten la manipulación y la constante actualización de los datos. Actualmente, para la ma-

yoría de las aplicaciones que utilizan bases de datos, el modelo más empleado es el modelo relacional, el cual se basa en la lógica de predicados y en la teoría de conjuntos. Este modelo permite representar la información del mundo real de una manera intuitiva, incorporando mecanismos de consulta muy potentes. Los lenguajes de consulta abstractos forman una parte importante de este estudio, los cuales constituyen las bases del lenguaje estructurado de consultas SQL (del inglés Structured Query Language), ampliamente

utilizado en la actualidad.

El álgebra relacional es un lenguaje de tipo procedimental, que incluye un conjunto de operadores de la teoría de conjuntos así como otros propios, que permiten definir las operaciones necesarias para obtener la información que se requiere de las relaciones sobre las que se hace una solicitud de información. Cada operador toma como entrada una o dos relaciones y su resultado es una nueva relación [1],[2]. El álgebra relacional es un lenguaje de datos puros [1] que tiene un alto grado de abstracción. Es utilizado generalmente entornos educativos, pues el lenguaje estándar utilizado por la mayoría de los SMBD actuales, es el SQL. No obstante tiene una gran importancia en el proceso de enseñanza aprendizaje de las bases de datos, pues ilustran de forma precisa las técnicas fundamentales que permiten la extracción de datos de las bases de datos, y constituyen las bases en las que se asienta el SQL.

La experiencia obtenida en la impartición de la materia de Bases de Datos a nivel licenciatura, ha permitido detectar la dificultad a la que se enfrenta el alumno para relacionar la abstracción que requiere el diseño de una consulta en álgebra relacional y la obtención de los resultados esperados. Es decir, para los alumnos es difícil determinar si el diseño en álgebra relacional es correcto y responde a los requisitos de información solicitados. A esto se adiciona que una consulta puede ser expresada de diversas maneras, y ser correcta.

La complejidad del diseño de consultas en álgebra relacional hace necesario la utilización de mecanismos mediante los cuales los alumnos puedan explorar las diferentes posibilidades durante la fase del diseño de la consulta, así como permitir una retroalimentación inmediata, visualizando los resultados de manera gráfica, y permitir la realización de modificaciones de manera interactiva. El hecho de usar simulaciones por computadora, en la enseñanza tradicional ha logrado cambios positivos en los alumnos, en cuanto a la resolución de problemas, ya que brindan la posibilidad de acceso a la enseñanza de temas de difícil comprensión y demostración.

Las TIC's (Tecnologías de la información y la comunicación) constituyen en la actualidad herramientas valiosas que pueden ser utilizadas como apoyo en los procesos de enseñanza aprendizaje. A través de ellas los estudiantes pueden evaluar sus conocimientos, y con ello fortalecer su formación en un área específica. El diseño pedagógico de la herramienta es determinante para el éxito o fracaso del uso de estas. La integración de las TIC's en la educación a nivel superior como apoyo y complemento a la enseñanza presencial, requiere

del diseño de metodologías de aprendizaje para obtener el máximo aprovechamiento de las nuevas tecnologías.

Actualmente no existen muchas herramientas que faciliten la comprensión y el desarrollo de las habilidades requeridas para trabajar con el álgebra relacional, y las que existen no están consolidadas ni ampliamente difundidas

En este artículo se presenta el prototipo de una herramienta interactiva que proporcione a estudiantes de cursos básicos de bases de datos, un entorno en el cual se puedan diseñar consultas en álgebra relacional, de manera asistida mediante una computadora, y verificar visualmente el funcionamiento y desempeño de las mismas. El desarrollo de la herramienta se basa en el modelo relacional de base de datos considerando a lo que en la teoría de las inteligencias múltiples [3] señala como la inteligencia espacial, misma que se fundamenta en la observación personal del mundo visual como una fuente primaria de pensamiento para poder comprender y aportar soluciones. La inteligencia espacial, también conocida como visual, sugiere el desarrollo de la inteligencia a través de elementos visuales que simbolicen y representen imágenes mentales. En el caso específico del diseño de consultas en álgebra relacional y en SQL, se pretende interactuar a través de un ejercicio dialéctico entre la parte abstracta de la formulación de la consulta y la parte concreta representada por el resultado de la operación, todo esto a través de un ejercicio didáctico a través de representaciones visuales que se presentan en la herramienta atendiendo lo que sugiere el método de los cuatro pasos para la resolución de problemas [4]: entender un problema, configurar un plan, ejecutar un plan y mirar hacia atrás.

## 2. Metodología de Desarrollo de Software

Hoy en día, para desarrollar software correctamente se necesita "definir quién está haciendo qué, cuándo hacerlo y cómo alcanzar un cierto objetivo" [5], para ello la Ingeniería de Software, ofrece métodos y técnicas para desarrollar y mantener software de calidad. La ingeniería de software tiene diversas definiciones; una definición desarrollada por la IEEE es: "La ingeniería de software es la aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable hacia el desarrollo, operación y mantenimiento del software".

La ingeniería del software permite desarrollar software de calidad, para ello actualmente existen dos enfoques: estructurado y orientado a objetos [6]. En el enfoque estructurado, la descomposición del problema es fundamentalmente por funciones o procesos, lo cual origina una división jerárquica de procesos constituidos

por subprocesos; por otro lado el enfoque orientado a objetos busca ante todo descomponer un espacio de problema por objetos.

La ingeniería de software orientada a objetos permite crear software modelando el mundo de forma tal que ayuda a entenderlo, controlarlo y gobernarlo de una mejor manera [7]. De igual manera la ingeniería de software proporciona diversos ciclos de vida que permiten desarrollar software de calidad de una manera ordenada y sistemática.

Actualmente existen diversos ciclos de vida, sin embargo todos ellos se basan en aspectos comunes como: análisis, diseño, codificación, prueba y mantenimiento. El ciclo de vida "prototipo evolutivo" o "modelo de desarrollo de prototipos", permite desarrollar una aplicación mediante un proceso iterativo de desarrollo.

El proceso de elaboración de software educativo no es un proceso lineal, sino iterativo: en determinados momentos de la realización se comprueba el funcionamiento, el resultado, se evalúa el producto y frecuentemente se detecta la conveniencia de introducir cambios. Seleccionar el ciclo de vida prototipo evolutivo permite que los expertos educativos y educadores participen de una manera más abierta y directa, involucrándose de esta manera en el desarrollo del software, lo que obviamente representa una gran ventaja, ya que ellos son los que conocen las necesidades y problemáticas de los estudiantes [8].

Las etapas de este ciclo de vida son: a) identificación de requerimientos, en esta etapa es de vital importancia la comunicación entre el equipo de desarrollo y el cliente, ya que deben de identificar los requerimientos que deben satisfacerse; b) desarrollo de un modelo, antes de empezar a trabajar se debe realizar un plan de trabajo que describa las actividades a realizar, y el tiempo necesario para presentar el prototipo al término de cada iteración; c) utilización del prototipo, el equipo de desarrollo debe trabajar con el prototipo y evaluarlo para determinar si hay que realizar cambios o mejoras, o eliminar características innecesarias; d) revisión del prototipo, el equipo de desarrollo una vez terminado el prototipo lo revisa exhaustivamente antes de llevarlo con el cliente, e) evaluación del prototipo, en esta etapa el cliente es el que evalúa el prototipo y decide implementarlo, volver a desarrollar la aplicación, o comenzar un nuevo prototipo. Una característica de este ciclo de vida es que las etapas se repiten tantas veces como sea necesario hasta que el cliente queda completamente satisfecho con el software desarrollado [9].

Este ciclo de vida permite acotar tiempos de manera significativa, además que el equipo de desarrollo entiende mejor que debe hacer y el cliente ve resultados en

un corto periodo de tiempo.

En la fase de requisitos para el caso de un software educativo se deben considerar los siguientes aspectos: 1) El contenido o el eje temático del software. Curricular o extracurricular, 2) El o los objetivos educativos del software. Lo que se debe aprender al utilizar la herramienta, 3) El tipo de software educativo a desarrollar. Tutorial, simulador, sistema experto, enciclopedia, diccionario, lúdico, 4) La población objetivo o a la que va dirigido. Edad, nivel escolar, grado escolar, grado intelectual, capacidad de asimilación, en su caso discapacidad física o psicológica, 5) Modos de uso. Individual o grupal, 6) Uso didáctico. Autodidáctico, actividad de reforzamiento, apoyo de una clase, ejercitamiento, evaluativo e investigación, 7) Teoría del aprendizaje sustentable. Conductista, constructivista, cognoscitivista y las derivadas de las anteriores, 8) Los objetivos psicopedagógicos. Conocimientos, habilidades y destrezas, 9) Actividades interactivas. Ejercicios, consultas, búsquedas, pregunta-respuesta.

### 3. Diseño e implementación del prototipo

Las principales características generales que guían el diseño del prototipo consisten en considerar que es el propio estudiante que construye su conocimiento en un proceso en el cual el docente debe actuar como guía. En dicho proceso el estudiante se enfrenta a instancias de problemas que intenta resolver hasta que logre elaborar una solución adecuada.

Para el desarrollo de la herramienta didáctica se utilizó el ciclo de vida prototipo evolutivo y la ingeniería de software orientada a objetos. Se inició diseñando y construyendo las partes más importantes de la aplicación en un prototipo que se fue refinando y ampliando hasta que el prototipo se terminó. Las etapas que se llevaron a cabo para el desarrollo de la herramienta fueron:

#### 3.1. Identificación de requerimientos

La primera etapa del ciclo de vida consiste en definir claramente los requerimientos. Entre los requerimientos identificados para la herramienta se encuentran: 1) Escribir consultas en Álgebra Relacional, 2) Verificar la sintaxis de la consulta en Álgebra Relacional, 3) Convertir la instrucción en SQL, 4) Mostrar gráficamente los resultados de la consulta, 5) Verificar el funcionamiento de la consulta.

En la figura 1 se muestra el diagrama de casos de uso de la herramienta, el cual muestra el conjunto de casos de usos, sus actores y relaciones.

Los actores que interactúan con la herramienta son: 1) Alumno, es el usuario principal de la herramienta, 2) Profesor, es la persona encargada de crear esquemas de bases de datos, de la incorporación de información, así como de evaluar el desempeño de los estudiantes.

Los casos de usos de la herramienta son:

- 1) Conectar BD existente. Permite abrir un esquema de una base de datos existente en un manejador de bases de datos.
- 2) Crear tablas. Permite crear un esquema local de una base de datos.
- 3) Insertar datos en tablas. Permite insertar información a las tablas del esquema local.
- 4) Diseñar consultas AR. Permite construir consultas en álgebra relacional.
- 5) Traducir consulta a SQL. Permite generar una consulta SQL a partir de una consulta en álgebra relacional.
- 6) Visualizar resultados. Permite mostrar de manera gráfica el resultado de la consulta sobre un esquema de una base de datos.
- 7) Evaluar desempeño. Permite evaluar el desempeño de los ejercicios desarrollados por los estudiantes.

### 3.2. Del diseño, desarrollo e implementación del prototipo.

Para continuar con las fases del desarrollo del ciclo de vida, fue necesario definir el funcionamiento de la herramienta. En la figura 2 se muestra el diagrama general, en donde se pueden apreciar los módulos que conforman la herramienta.

1) Cargar tablas. Permite abrir un esquema de una base de datos remota o local, 2) Editor de consultas en álgebra relacional. Este módulo permite que el usuario introduzca una consulta en álgebra relacional, 3) Analizador sintáctico / semántica. Este módulo permite revisar la sintaxis, así como la semántica de la consulta, 4) Traductor de álgebra a SQL. Este módulo transforma la consulta de álgebra relacional a la sintaxis del SQL, 5) Preparar datos para visualización. Este módulo ejecuta la consulta en SQL y visualiza los resultados de la consulta, 6) Visualizador gráfico. Este módulo muestra los resultados de la consulta utilizando representación gráfica.

### 3.3. De la prueba del prototipo y refinamiento iterativo

Durante el tiempo del desarrollo de la herramienta fue posible que expertos educativos y educadores probarán

el prototipo de manera directa, haciendo las observaciones y recomendaciones necesarias, las cuales se fueron incorporando y haciendo el refinamiento iterativo para alcanzar el prototipo final deseable.

## 4. Descripción del prototipo

Para mostrar el funcionamiento del prototipo, se presentaron algunas de las pantallas que forman parte de la herramienta, así como la secuencia de pasos necesarios para obtener el resultado de la consulta: "El nombre de todos los empleados cuya edad sea menor a 35 años". En la figura 3 se puede observar la interfaz de inicio del asistente para la construcción de la consulta en álgebra relacional. Del lado izquierdo se muestra la lista de las operaciones del álgebra relacional disponibles en la herramienta. Al seleccionar cada una de las operaciones se muestra la sintaxis en álgebra relacional, así como los elementos que son necesarios introducir de acuerdo a la sintaxis del operador. Para el ejemplo es necesario introducir la condición:  $edad < 35$ , tal como lo sugiere el planteamiento del problema, así como seleccionar la tabla EMPLEADO. Esta dinámica de trabajo sugiere un ejercicio reflexivo en el alumno puesto que tendrá que elegir la tabla que contenga el campo que debe estar contenido en la condición.

A través de la herramienta es posible la construcción de consultas que requieran más de un operador. En la figura 4 se pueden observar las tres secciones del asistente para la construcción de consultas. En la primera sección se diseña la consulta para cada operador, la cual se muestra terminada en la segunda sección. Ya que se encuentra lista la consulta tal y como se muestra en la segunda sección, es posible incorporarla a la consulta final que se muestra en la tercera sección. Este es un proceso iterativo que permite al alumno construir la consulta completa paso a paso. Esta interacción se presenta en un ambiente gráfico que sugiere procesos reflexivos e intuitivos que permiten comprender el proceso abstracto que demanda la construcción de consultas tanto en álgebra relacional como en SQL.

Sin embargo, hasta aquí la consulta sigue quedando en el terreno de la abstracción puesto que esta sentencia no puede ser compilada por un sistema manejador de base de datos. Se propone entonces que la herramienta automáticamente genere la sentencia SQL correspondiente de la expresión en álgebra relacional. Una sentencia expresada en SQL ofrece la ventaja que puede ser analizada sintácticamente, compilada y ejecutada por la mayoría de los sistemas manejadores de bases de datos. En la Figura 5 se muestra la ma-

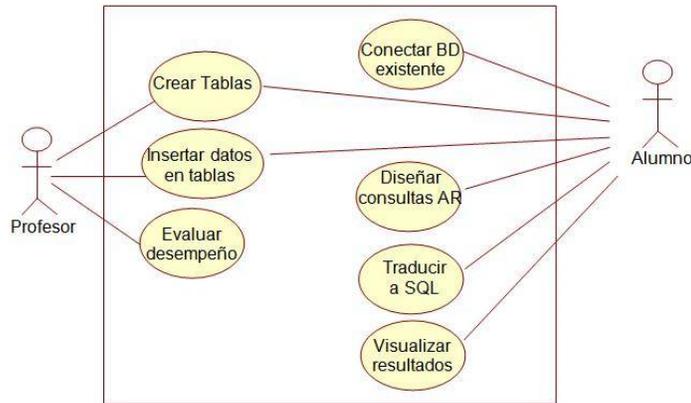


Figura 1. Diagrama de Casos de Usos de la herramienta didáctica



Figura 2. Diagrama general de la herramienta didáctica

nera cómo queda visualizada la sentencia SQL en la herramienta. Con esto, el alumno puede comprobar el resultado que genera la expresión, que él ha construido en álgebra relacional, y analizar los resultados de manera visual directamente sobre las tablas que intervienen en la consulta. La figura 5 muestra los resultados gráficos de la consulta.

### 5. Utilización del prototipo

La herramienta se utilizó en un curso básico de Bases de Datos, para obtener información inicial sobre la aceptación de la herramienta y el entendimiento de la misma por parte de los estudiantes. La herramienta fue utilizada por 25 estudiantes durante 4 semanas, como apoyo al tema de Álgebra Relacional.

Como primera actividad se presentó la herramienta a los estudiantes, así como la secuencia de pasos necesaria para la construcción de consultas.

Se asignaron tres prácticas inicialmente: 1) Conectarse a una base de datos existente, 2) Crear tablas de manera de manera local, y 3) Diseñar la primera

consulta en Álgebra Relacional.

Las primeras dos prácticas fueron necesarias para que el estudiante pudiera acceder a la información de las tablas requeridas para la construcción de consultas.

Para la construcción de la primera consulta se utilizó el operador de proyección sobre una tabla. A través de la herramienta el estudiante primeramente tiene que indicar que utilizará el operador de proyección. Posteriormente el asistente le muestra los elementos necesarios, siendo estos la tabla de donde se obtienen los datos, así como los atributos que desea se visualicen en la consulta.

Al momento de ejecutar las consultas cada estudiante pudo comprobar si la consulta diseñada por él, cumplía con las indicaciones de la práctica.

Con la realización de estas prácticas se pudieron obtener resultados positivos. Los estudiantes pudieron comprobar el funcionamiento y el desempeño de las consultas de manera visual. La aceptación de la herramienta fue inmediata, hubo un gran interés por utilizarla para el desarrollo de otras prácticas.

Se pudo notar que los estudiantes mejoraban la habilidad para el desarrollo de consultas al presentar la

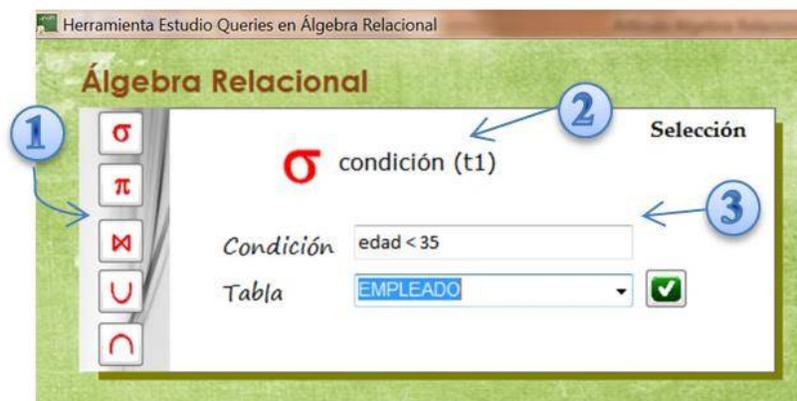


Figura 3. Interfaz de inicio de la construcción de una consulta en álgebra relacional.



Figura 4. Interfaz para la construcción de una consulta con más de un operador.

ejecución de la misma de manera visual. Los estudiantes comentaron las ventajas que representaban el desarrollar las consultas utilizando la herramienta. También indicaron que con esta nueva herramienta podrían desarrollar de manera más rápida las prácticas que se tenían asignadas para el tema, e incluso desarrollar nuevas prácticas. Finalmente, la herramienta fue utilizada por los estudiantes para desarrollar todas las prácticas que se tenían planeadas para el tema de Álgebra Relacional, así como el uso de SQL

## 6. Conclusiones

Frente a la necesidad de incorporar nuevas estrategias de enseñanza y aprendizaje, para la resolución de problemas de temas de difícil comprensión y demostración, como lo es el diseño de consultas en álgebra relacional, es importante el uso de herramientas computacionales que ayuden a tal fin.

El desarrollo de las TIC ha impactado positivamente en muchos sectores de la sociedad, entre ellos la educación. Estos recursos aportan calidad al desarrollo del



Figura 5. Interfaz para la generación automática de una consulta en SQL, así como los resultados.

proceso enseñanza aprendizaje. Su uso permite realizarlo de manera más personalizada, independiente y automatizada, apoyando su carácter formativo al facilitar una retroalimentación inmediata.

La herramienta presentada constituye un recurso valioso para la enseñanza del diseño de consultas en álgebra relacional, ya que permite al estudiante desarrollar las consultas trabajando directamente sobre la computadora, y comprobando de manera gráfica el resultado de la ejecución de la consulta.

Los usuarios principales de la herramienta serán los estudiantes de nivel licenciatura en las áreas de informática y computación, que cursen asignaturas del área de tratamiento de la información. La herramienta está diseñada para el trabajo de modo individual y como elemento para reforzar el aprendizaje del diseño de consultas, particularmente las que incluyen los operadores de proyección, selección, join, unión e intersección, permitiendo que el usuario interactúe directamente con la herramienta.

## Referencias

- [1] Silberschatz et al, *Fundamentos de Bases de Datos*, 4ta. Edición Mc Graw Hill, 2002, ISBN 0072283637.
- [2] C.J. Date, *Introducción a los Sistemas de Bases de Datos*, 7ma. Edición Pearson Educación, 2001, ISBN 9684444192.
- [3] H. Gardner, *Estructuras de la mente. Teoría de las inteligencias múltiples*, 2da. Edición Fondo de Cultura Económica, 1993 ISBN 0465025102.
- [4] G. Polya, *Como plantear y resolver problemas*, 2da. Edición Trillas, 1965, ISBN 9682400643 .
- [5] I. Jacobson. (2002) *Applying UML in the Unified Process* <http://www.rational.com/uml/UMLconf.zip>
- [6] C. Larman, *UML y Patrones. Introducción al análisis y diseño orientado a objetos*, 1era. Edición Pearson Educación, 2003, ISBN 8420534382.
- [7] R.S. Pressman, *Ingeniería de Software. Un Enfoque Práctico*, 5ta. Edición Mc Graw Hill, 2002, ISBN 8448132149
- [8] M. Van Manen, "Transdisciplinarity and the New Production of Knowledge". *Qualitative Health Research*, 2011.
- [9] J.A. Senn, *Análisis y Diseño de Sistemas de Información*, 2da. Edición Mc Graw Hill, 2002
- [10] Y. Gómez, E. Verdecia and A. Granda. "Estado actual de las herramientas de apoyo a la enseñanza del álgebra y cálculo relacional". *XV Congreso Internacional de Informática en la educación*, La Habana, 2013.
- [11] J. Gutiérrez et al, "Comparativa de herramientas para la enseñanza de lenguajes relacionales". *Actas de las XI Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*, Vol. 11, pp. 297-304, 2005 .

# Energy Model in an Open Hardware Wireless Sensor Network

Ángel Humberto Corral Domínguez<sup>a</sup>, Diego Adrián García Córdova<sup>a</sup>, Andrés Calvillo Téllez<sup>b</sup>, Gilberto Enrico Vázquez Alcaraz<sup>a</sup>, Manuel de Jesús García Ortega<sup>a</sup>, José Cruz Núñez Pérez<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Instituto Tecnológico de Tijuana, Depto de .Ing.Eléctrica y Electrónica  
Calzada del Tecnológico S/N, Fracc. Tomás Aquino Tijuana, Baja California, C.P. 22414.  
{ahcorral,mdejgaro,gilberto\_alcaraz}@yahoo.com, electronica@tectijuana.mx

<sup>b</sup>Centro de Investigación y desarrollo de Tecnología Digital del IPN.  
Av. Instituto Politécnico Nacional 1310 Garita de Otay Tijuana, Baja California, C.P. 22510.  
{calvillo,nunez}@citedi.mx

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Abstract

Energy model and the characterization of the coverage of the link of a wireless sensor network of open hardware are presented. Measurements of energy consumption of the WSN are shown using different power levels of RF transmitter. Characterization as well as telemetry measurements were performed in open countryside on a network of sensors with wireless connectivity using 63mw xbee pro whip antenna modules. Readings are performed in rough topography, warm temperate climate; the data collecting was recorded in summer, sensors modules assumed in the area of geo-position. Established connectivity, bursts of data were sent and returned to the module Coordinator. The testing shows that according the experiment, a distance of 300 meters between nodes is the best option to keep the reliability of the link.

*Keywords*:; energy model, coverage, sensor network, telemetry.

---

## 1. Introduction

The field of wireless sensor networking, WSN, has had a boom in the last decade in different areas of human development. In these systems of most current concepts of technological development have applied at different stages that make a node, which is the basic element for the operation of these networks. See Figure (1). In the community of digital systems has aroused interest to face the problems of agricultural fields the sensing and actuation with existing technological resources; essentially, in the prediction of frost to

establish strategies that will reduce the impact in such a way that its effects are not devastating in the cycle of harvesting [1]. Before these climatic and topographic conditions, the scientific community must cope with novel and innovative proposals, the attenuation of the impact and its effects through the autonomous monitoring of this climatic condition, as well as activate a response that will anticipate the sudden changes in climate and active in time and form the most effective procedure. Since a crop has extensive area and is regularly immersed in irregular topography, such solutions are not in current scientific literature. These extensive areas of cultivation

occupy large regions which make the readings of the environmental parameters are not accurate and indicate variations in the recording. Such readings serve small portions of land area whose unique and unrepeatable features enable you to define them as areas of microclimates. When an area has low temperatures freeze process has started, it is here where the remote sensing can monitor these regions and prevent the effects during the progress of time before the phenomenon of frost covers the entire area.

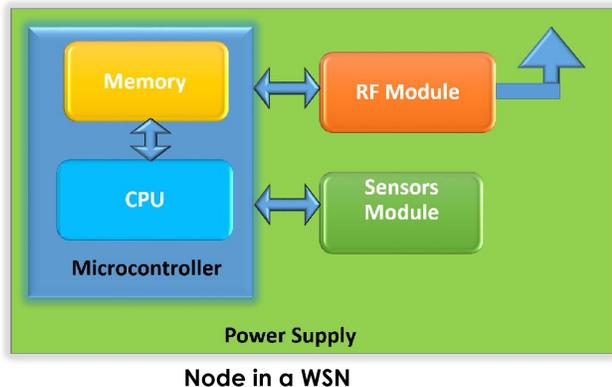


Figure 1. Main elements in a wireless sensor network's node.

The alternative proposed is to establish a network of sensors covering the field with omnidirectional radiation pattern, where digital system will have the ability to remotely control the activation of sprinklers that suppress fall in temperature. In applications such this, where there is a fixed power supply for sensor nodes, is of extreme importance energy efficiency. With this, you know the energy model of the system to predict the expected consumption and estimate the time of duration of the power of nodes without the problem of losing coverage in the area of interest.

## 2. Procedure

### 2.1. Coverage Analysis

The integrity of the actions of sensing and control of actuators will depend on the level of signal reception ( $P_r$ ), equation (1), that manages to reach the higher rank with one sufficient margin to get a 100 % [4]-[11] data integrity. Supposing of the wireless link point - multipoint, equation (2), consider the algebraic sum of the gain and loss of the radio transmitter (radio signal source), through cables, antennas and clearances to the receiver. It is necessary to estimate the value of the signal intensity in different parts of the link to ensure its functionality and the integrity of the communication. Link

budget is also known in the calculation as Fade Margin (dimming range) or System Operating Margin (margin of system operation), equation (3). The exact amount of margin of attenuation that is required for a wireless system depends on the desired reliability of the link, but a good rule of common use is 20 to 30 dB. For users, especially for those who want to know the reliability of your wireless connection, this formula is ideal when the transmitter and the receiver are working at a certain distance between them, [12]-[16]. If it is the excellent case, fading margin level will exceed the 22dB. The link should work with high reliability, ideal for applications requiring a high quality link, without interruptions. Will be a good link if fading margin level falls within the range of 14 22dB. The link should allow you a good navigation, satisfying most needs. In the event of a normal link, the level of the margin of fading is 14dB or less. The link will not be stable continuously, but it should work properly. Figure (2) shows the coverage for one network in a range of 1.5 Km and reception level of -80dBmW.

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_p - L_{ccTx} - L_{ccRx} \quad (1)$$

Where:

$P_r$ = Reception power level in the range,

$P_t$ =Transmission power level of module xbee pro of 18dBmW,

$G_t$ =Omnidirectional transmission antenna gain, 2dB

$G_r$ =Reception antenna gain, 2dB

$L_p$ =Loss of propagation in free air, 103.5 dB

$L_{ccTx}$ =Line and connection loss of transmitter, 0.5 dB

$L_{ccRx}$ =Line and connection loss of receiver, 0.5 dB

$$L_p = 32.4_{dB} + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{Km} \quad [dB] \quad (2)$$

Where:

$L_p$ =Loss of propagation in free air, 103.5 dB

$f$ =Working frequency, 2400 MHz

$d$ =Separation range of sensor, 1.5km

$$M = P_r - S \quad (3)$$

Where:

$M$ =Margin 17.5 dB

$P_r$ =Reception Power level, -82.5dB,

$S$ =Floor noise sensibility, -100dB

### 2.2. The Energy Model

Figure (3) shows the elements in a node which build the wireless sensors network. These elements are the microcontroller (that includes the cpu and memory) which we will call it the cpu, RF communication module and

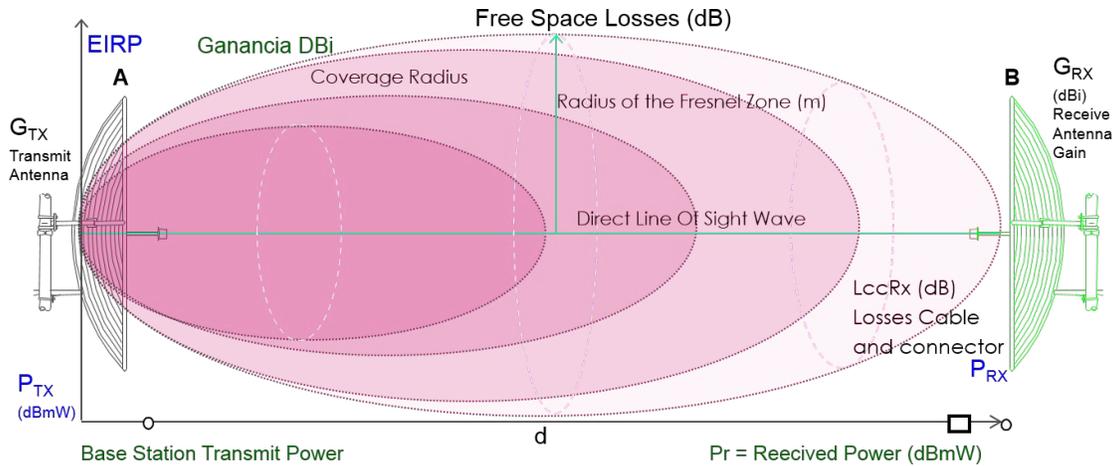


Figure 2. Coverage in a Wireless network in a range of 1500m and a reception signal level of -80 dBmW.

the sensors module. The energy consumption in a node can be expressed as in [2] and is given in equation (4).

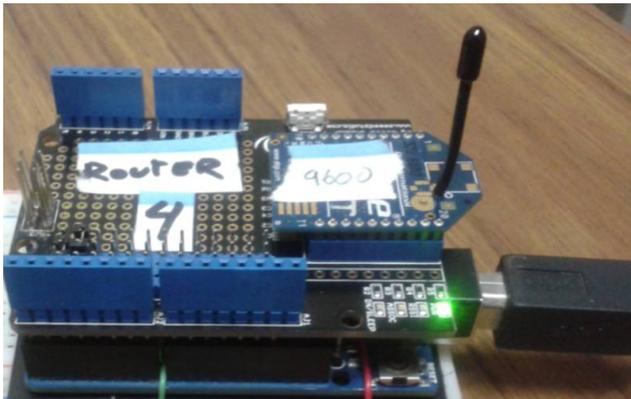


Figure 3. Photo shows the hardware of a node in a wireless sensor network. (Microcontroller, sensor and RF Module).

The energy consumption in a node is:

$$E_{node} = E_{cpu} + E_{radio} + E_{sensors} \quad (4)$$

where:

$E_{node}$ , is the energy consumed in the microcontroller system, given in joules.

$E_{radio}$ , is the energy consumed in the transmitter-receiver radio frequency system.

$E_{sensors}$ , is the energy consumed in the sensors system.

The energy consumed in the cpu, is given by equation (5) .

$$E_{cpu} = \sum_{i=1}^n P_{cpu-state(i)} * T_{cpu-state(i)} \quad (5)$$

where:

$P_{cpu-state}$ , is the power consumed in the state i of the cpu, given in watts.

$T_{cpu-state}$ , is the time duration of state i, given in seconds. This time includes the transition time between states.

The power of the transceiver (radio) is shown in equation (6). The transceiver model used is shown in Figure (4).

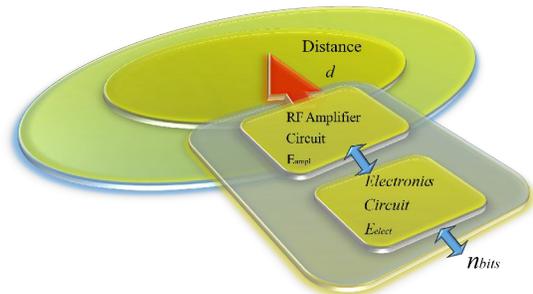


Figure 4. RF transceiver model.

Since the energy consumed by the radio communication of a WSN depends on the distance that is required to cover and the amount of information being transmitted; which in turn depends on the selected power level of the radio, and the number of bits transmitted; the model is as follows:

$$E_{radio}(n, d) = E_{elec}(n) + E_{ampl}(n, d) = E_{elec} * n + E_{ampl} * n * d^2 \quad (6)$$

where:

$E_{elec}$ , is the energy consumed in the transceiver circuitry by n processed bits.

$E_{ampl}$ , is the energy consumed in the RF amplifier circuit by transmitting n bits of information in a distance d.

The energy consumption in the sensors system is shown in equation (7).

$$E_{sensors} = E_{elec} + E_{transd} \quad (7)$$

where:

$E_{elec}$ , is the energy consumed by the conditioning and analog to digital converting circuitry.

$E_{transd}$ , is the energy consumed by the transducer elements.

### 3. Results

#### 3.1. Link Analysis

In the real range test of the link and coverage outside of a network of sensors, the results obtained are presented within a framework of an irregular topography, giving values that maintain the integrity of the data as well as the quality of the link; as well as the reading errors obtained in plots of packages Sent-Received. Measurement of the packages was carried out to establish the connection between two modules of the network, one of them the Coordinator and an End device for determining the real range presenting modules under normal conditions of use, warm weather, sky clear. The test was performed with two Xbee Pro S2 modules with built-in wire antenna. Figure 3 shows a picture of a system node made by an Arduino microcontroller, an xbee shield and a radio communication module XBee.

The hardware used for modules Coordinator, router and end devices has the microcontroller and RF module as common elements. The interaction between both elements is through serial communication; signals and the interconnection are indicated in Figure (5), [5], [8].

To complete the description of the hardware used in the project, in figure (6) is shown the structure of the modules in a block diagram. A coordinator/router module is shown and the structure of an end device with sensors and possible actuators [7].

For the realization of test coverage and quality link was used the Coordinator module, which is connected to a personal computer by running the Setup program and test XCTU of the radio module manufacturer, Digi International frequency [3]. Remote module which has the function of the end device was placed at different distances in order to determine the range of the communication. Range specifications of the XBee-Pro modules is 1.5 km, so tests were planned of communication at different distances for the characterization of the coverage that we can achieve with these modules. The distances that were used to make the evaluation of the modules like coordinates are shown in table (1).

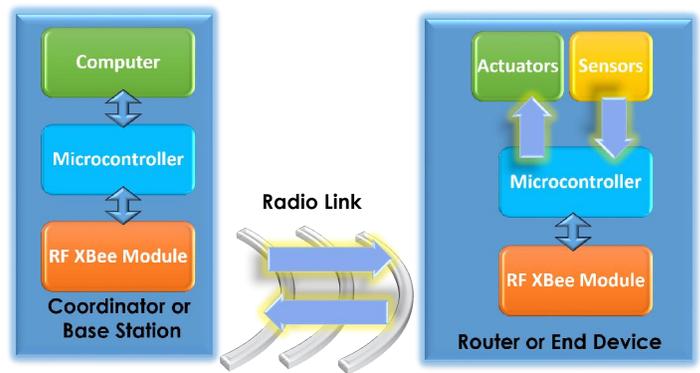


Figure 6. Wireless Interconnect diagram between coordinator and router/end devices.

Table 1. Site identification used in testing.

Site	Coordinates		Description
	Latitude	Longitude	
1	32° 32' 47'	117° 05' 5'	Base 0m
2	32° 32' 47'	117° 05' 4'	at 30m
3	32° 32' 47'	117° 05' 2'	at 100m
4	32° 32' 47'	117° 04' 55'	at 300m
5	32° 32' 47'	117° 04' 49'	at 500m
6	32° 32' 47'	117° 04' 39'	at 800m
7	32° 32' 47'	117° 04' 33'	at 1000m
8	32° 32' 47'	117° 04' 27'	at 1200m
9	32° 32' 47'	117° 04' 17'	at 1500m

Once having the sites, the links were defined. The Coordinator module was placed in the base position (site 1) and the final device is placed first on the site 2 (to 30 m) to achieve the 1 link; then was placed at site 3 (100 meters) to achieve the link 2, and so on. The links are specified in table (2).

To determine the link of the quality, the Received Signal Strength Indicator, RSSI, was evaluated; which is a parameter that indicates the power level with which the signal is received. Signal RSSI is given in dBm and is referenced to 1mW of power [6], [9]. To interpret the values obtained from RSSI, values in table (3) are used as a general rule to determine whether or not a value is

Table 2. Identification of the links.

Link	Description
1	Site 1 to 2
2	Site 1 to 3
3	Site 1 to 4
4	Site 1 to 5
5	Site 1 to 6
6	Site 1 to 7
7	Site 1 to 8
8	Site 1 to 9

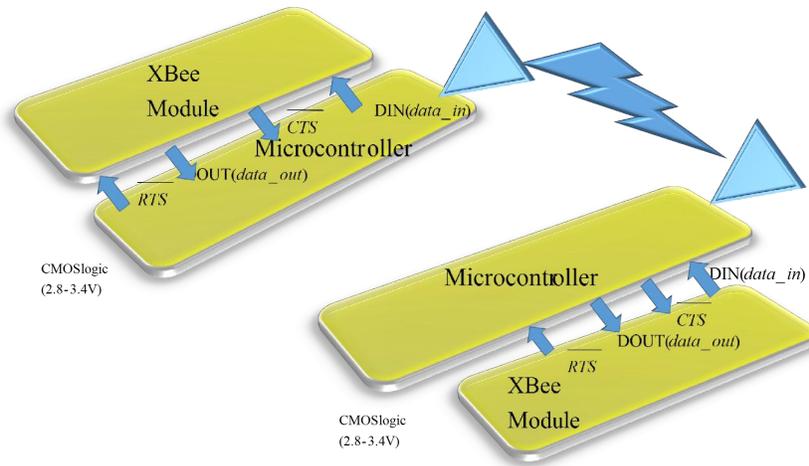


Figure 5. Interconnection diagram of microcontroller and xbee RF module.

Table 3. Values suggested for RSSI.

RSSI range	Signal quality
Better than -40 dB	Exceptional
-40 dB to -55 dB	Very good
-55 dB to -70 db	Good
-70 dB to -80 dB	Marginal
-80 dB and below	Intermittent or not operational

acceptable.

To complement the assessment, is also monitoring the quality of the link and the amount of 64 byte packets that were transmitted from the module Coordinator and returned by the end device. Coordinator and end device software were configured and tested using XCTU software provided by the company which manufactures modules, Digi International. The test setup is shown in Figure (7).

Also is included in Figure (8) the link test carried out at a distance of 500m, where the connection between the modules, was still achieved just that with a lower level of reliability.

The results of the tests are presented in table (4), where you can see that the most appropriate link, however the link for appropriate values of RSSI is at 300 meters. Note. Power level 4 was used for transceivers modules for these tests.

### 3.2. Power consumption analysis

Below is shown the power consumption for the different stages of a node of the sensors network. Measurements of waveforms of current were made on an oscilloscope of 1Gs/s; 1? resistance was used in series with the load to get signals. Figure (9) shows microcontroller's power

Table 4. Results of RSSI and percentage of packages successfully sent-received. This was at maximum power of RF modules, 63 mW.

Link	63mW	
	Packages ok	RSSI
1	99%	-42 dBm
2	99%	-64 dBm
3	99%	-80 dBm
4	98%	-94 dBm
5	0%	-
6	0%	-
7	0%	-
8	0%	-

consumption measurements plus the radio at power level 4.

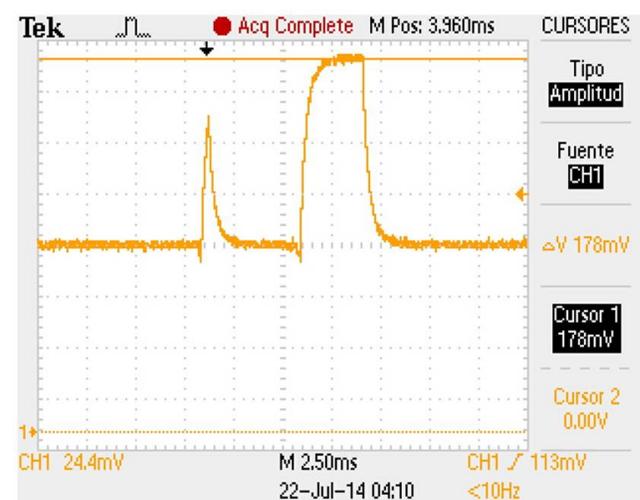


Figure 9. Current consumption measurement of the microcontroller plus the transceiver at power level 4.

Summarized all the different states of the cpu, giving

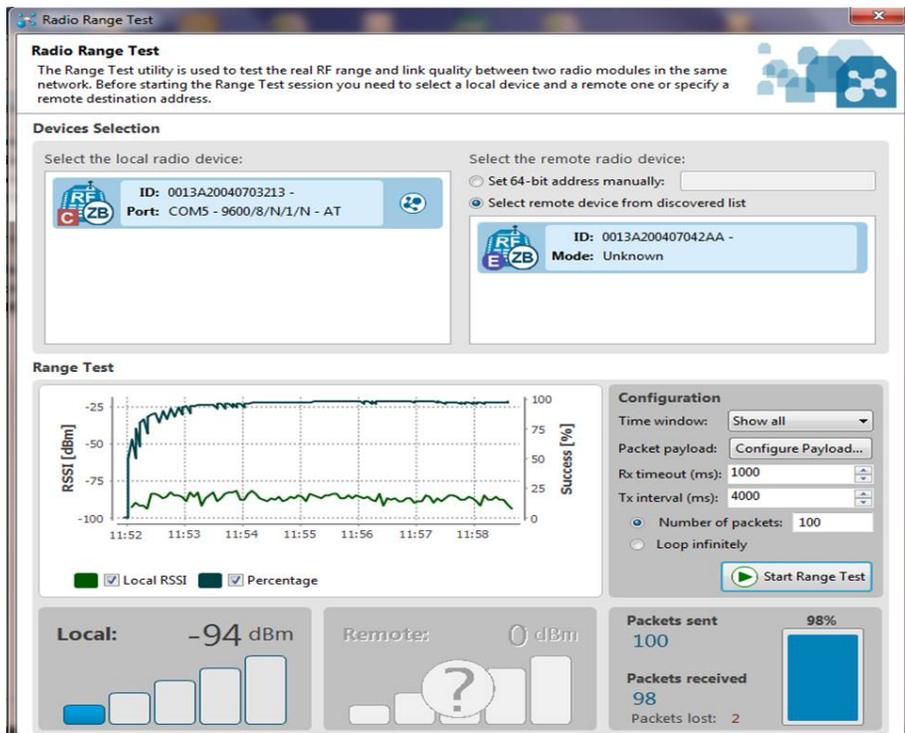


Figure 7. Snap shot at the end of link test at a distance of 30m. XCTU configuration and test software of Digi international.

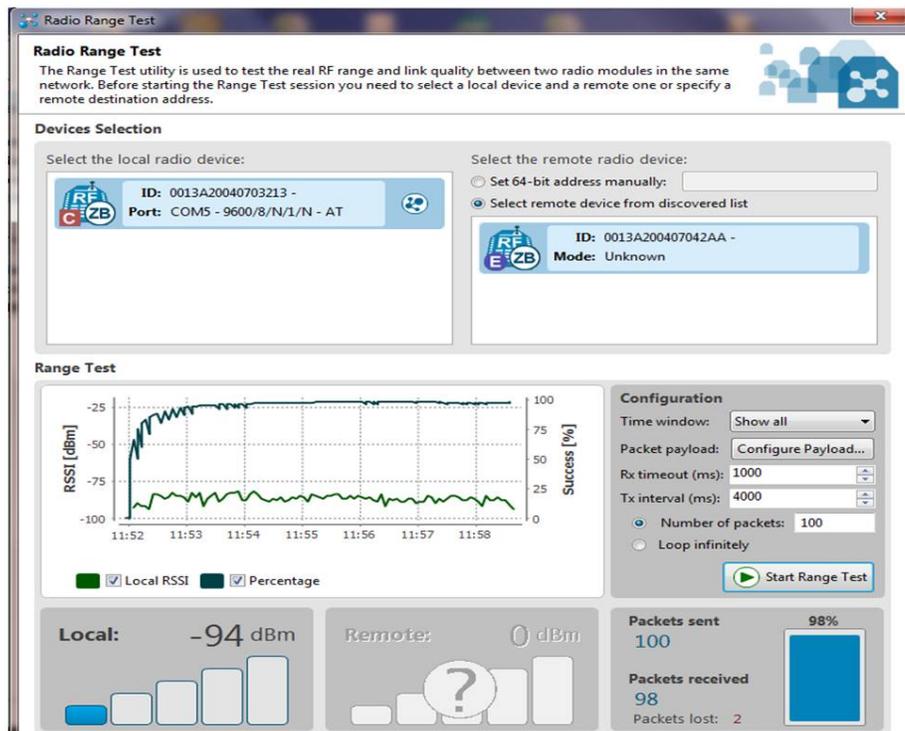


Figure 8. Snap shot at the end of link test between coordinator and end device at a distance of 500m.

a number of constant energy consumption, based on equation (5):

$$\text{CPU Power} = 41.2\text{mA} * 5\text{v} = 0.206\text{ w } E_{cpu} = 0.206\text{w} * 4\text{ s} = 0.824 \mu\text{Joules}$$

RF transceiver modules, power consumption varies according to the level of transmission power. The relationship of the energy with respect to the transmission power is given in table (5). RF module in idle/receive

mode = 47.6mA \* 3.3v = 0.157 w

RF module in sleep mode = 10µA

RF module power consumption: Conditions: Vcc = 3.3V, Energy per bit (RF data rate 250,000 bps, bit time is 4 s). Data based in equation (6).

The energy consumption in sensors module, in our case, is based on Temperature and Humidity sensor RHT03. This sensor a digital output calibrated temperature and humidity sensor. The power supply used for this component is 5 V. It transmits 8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit checksum for a total of 40 bits. The component is shown in figure (10).

Table 5. Energy consumption at different power levels of transceiver. Note: According datasheets of xbee modules, power level 4 is calibrated to 18dBm; the other values are estimated.

Power level	Current (mA)	Power (w)	Energy (µJ)
0 (10 dBm)	87	0.287	1.148
1 (12 dBm)	91	0.300	1.200
2 (14 dBm)	103	0.340	1.360
3 (16 dBm)	113	0.372	1.488
4 (18 dBm)	137	0.451	1.804



Figure 10. Temperature and Humidity sensor RHT03 of MaxDetect Technology Co.

The sensor transmits every bit in about 27 s. The electronic circuit consumption is included in the same component package as the transducer, so:

$$E_{sensors} = E_{elec} + E_{transd} = 1.2mA * 5V * 27\mu s = 0.162\mu Joules$$

$$E_{sensors} \text{ for 40 bits of data} = 6.48\mu Joules \text{ per sensing.}$$

#### 4. Conclusions

Table (4) shows the results of the test link at 500 meters where it can be seen that the value of RSSI is - 94 dBm and 98% of received packets. While the number of packets sent and received is high, in certain conditions of rain or other obstructions the link may fail. According to the values in table 4 results, lower to - 80 dBm values are not recommended due to lack of reliability in the link. The foregoing it is concluded that for modules XBee Pro series2 63mW power antenna wire, the more appropriate in our test suite link is more advisable to use the link 300 meters. Even when 500 meters has a 98% of received packets, is not recommended to use this distance because undertakes the integrity of the connection. It is recommended that there is a maximum distance of 300 meters between each node in the network of sensors to achieve the desired coverage. We must combine the table (4) and (5) to determine the desired option according to the level of power to be transmitted, the desired range and the amount of energy that must be consumed by the system.

For future work, we recommend the analysis of the life time and replacement of a certain type of battery used on the nodes to estimate the optimal time duration for network operation.

#### References

- [1] A. Corral, A. Calvillo, A. Vazquez, A. Garcia, J. Nunez. "Valoracion de la integridad de datos y rango de cobertura de una red de sensores", *ELECTRO 2014*, 2014.
- [2] N. A. Pantaziz, S. A. Nikolaidakis, D. D. Vergados. "Energy Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 15, No. 2, January 2013.
- [3] Xbee getting started guide, Digi International, 2012.
- [4] Xbee / Xbee Pro OEM RF Modules, Product Manual, Maxstream, 2007.
- [5] A. Gschwender. ZigBee Wireless Sensor and Control Network: Prentice Hall, 2009.
- [6] E. H. Callaway. Wireless Sensor Networks, Segunda ed. USA: Prentice Hall, 2013.
- [7] S. Farahani. ZigBee Wireless Networks and Transceivers: Newnes, 2011.

- [8] E. K. Ahmed, N. and N. A. Jamal, D. D. Vergados. "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks", *A Survey, IEEE Wireless Communications*, Vol. 11, 2004.
- [9] S. R. Sawant, R. R. Mudholkar, V. C. Rajashree. "Multihop Routing In Self-Organizing Wireless Sensor Networks", *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 8, No. 1, 2011.
- [10] T. Rappaport. *Wireless Communications: Principles and Practice*, Chapters 3 and 4, Prentice Hall, 1996.
- [11] J. Garrison. Zigbee Alliance. [Online]. <https://docs.zigbee.org/zigbee-docs/documents>, 2013.
- [12] K. G. Stuber. *Principles of Mobile Communication*, Chapter 2, Academic Publishers, 1996.
- [13] K. Chugg. Slides for EE535, 1999.
- [14] R. Dixon. *Spread Spectrum Systems*, Chapter 7, Wiley, 1985.
- [15] T. Ojanpera, R. Prasad and A. House. *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*, Chapter 4, 1998.
- [16] Andersen, Rappaport and Yoshida. "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels", *IEEE Communications*, January 1995.
- [17] J. D. Gibson. *The Communications Handbook*, CRC Press / IEEE Press, 1996.
- [18] Tomasi. *Sistemas de comunicaciones electronicas*. Cuarta edicin. Pearson Educacin, 2003.
- [19] A. A. R. Townsend. *Digital Line-of-Sight Radio Links: a handbook*. Prentice Hall. UK, 1998.
- [20] J. Gibson. *Communications Handbook Press / IEEE Press* 1996.
- [21] UHF/Microwave Experimenter's Manual (American Radio Relay League), ARRL 1990.
- [22] M.P.M. Hall, L.W. Barclay and M.T. Hewitt. *Propagation of Radiowaves (Institution of Electrical Engineers)*, 1996.
- [23] J.D. Parsons: *The Mobile Radio Propagation Channel*, Wiley & Sons, 1992.
- [24] J. Doble. *Introduction to Radio Propagation for Fixed and Mobile Communications* Artech House, 1996.
- [25] H.L. Bertoni, W. Honcharenko, L.R. Maciel and H.H. Xia . "UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 82, No. 9, pp. 1333-1359, January 1994.
- [26] R.L. Freeman. "Radio System Design for Telecommunications", Wiley & Sons, 1987.

# Estudio Piloto sobre los Conocimientos más Importantes para los Ingenieros de Software en México

Oscar Mario Rodríguez-Elias, Leonel Ulises Ortega-Encinas, José Miguel Rodríguez-Pérez, Sonia Regina Meneses-Mendoza, Ignacio Fonseca-Chon

*División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Hermosillo  
Av. Tecnológico S/N, Hermosillo, Sonora, México, 83170.  
omrodriguez@ith.mx, mtb\_leonel@hotmail.com, joserp@hotmail.com, so\_meneses@ith.mx,  
ifonseca@industrial.uson.mx*

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Resumen

La ingeniería del software es una actividad catalogada como intensiva en el uso del conocimiento. Esto ha llevado a diversos esfuerzos por determinar las áreas de conocimiento que deben dominar los ingenieros de software. Aunque existen estudios en el plano internacional en los que se han indagado las necesidades de conocimiento de los profesionistas del área de la ingeniería de software, no encontramos en la literatura estudios realizados en nuestro país al respecto. Por esta razón se llevó a cabo un estudio mediante el levantamiento de una encuesta entre ingenieros de software, para determinar cuáles son los conocimientos que actualmente requieren en su entorno de trabajo para cumplir con los proyectos que demandan las empresas en la región centro de Sonora. Los principales resultados de este trabajo, presentados en este artículo, muestran una alta importancia de las habilidades blandas.

*Palabras clave:* Conocimientos de la Ingeniería de Software, Encuesta de Necesidades de Conocimiento, Ingeniería de Software Empírica, Habilidades Blandas.

---

## 1. Introducción

La ingeniería de software es conocida como una actividad intensiva en conocimientos [1] debido a factores diversos, como la gran variedad de áreas de conocimiento que se requiere, así como la necesidad constante de aplicación de estrategias de solución de problemas. Debido a que los ingenieros de software requieren una muy amplia variedad de áreas de conocimiento, es sumamente difícil que una sola persona

las domine. En la búsqueda de facilitar el que los ingenieros de software cuenten con los conocimientos necesarios para sus actividades, se han realizado trabajos que han tratado de establecer propuestas sobre lo que deben saber los ingenieros de software. Un ejemplo importante es el SWEBOK (Software Engineering Body of Knowledge), que es la base para la certificación en ingeniería de software de la IEEE [2], y que define las áreas de conocimiento que los ingenieros de software deben saber a partir de 4 años de práctica. Por otro lado,

el SEEK (Software Engineering Education Knowledge) establece ciertos tópicos que un alumno de Ingeniería de Software debe dominar al momento de egresar de su carrera [3].

En la literatura se puede observar que los ingenieros de software tienen necesidades de conocimiento amplios y diversos. Sin embargo, no hemos encontrado datos que nos indiquen si los ingenieros de software en México tienen las mismas necesidades que las reportadas en estudios en otros países. Con esto en mente realizamos un estudio empírico mediante el desarrollo de una encuesta para determinar cuáles son los temas de conocimiento que requieren los ingenieros de software de la región centro del estado de Sonora. En este trabajo se presenta parte de los resultados de dicha encuesta, en particular para establecer cuáles son las similitudes y diferencias con respecto a lo reportado en otros estudios similares en distintos países.

El resto de este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección dos se da una descripción de los trabajos relacionados que hemos podido encontrar en la literatura. La sección tres presenta el diseño que se siguió para la elaboración de la encuesta, para después mostrar los resultados en la sección cuatro. En la sección cinco se discuten los resultados observados, para concluir este trabajo en la sección seis.

## 2. El conocimiento en la ingeniería del software

La importancia del conocimiento para un ingeniero de software ha sido ampliamente discutida en la literatura, de aquí el crecimiento en esfuerzos por integrar la gestión del conocimiento como parte importante de los procesos de software [4]. Esta importancia ha llevado al desarrollo de múltiples trabajos enfocados en lograr un mejor aprovechamiento del conocimiento dentro de las organizaciones y procesos de software [5]. Incluso, en [6] se ha observado que existe una relación directa entre el nivel de madurez o capacidad de los procesos de una empresa de software, y el grado al cual gestionan su conocimiento, por lo que existen autores que opinan que algunos de los principales problemas en procesos de software pueden ser considerados como problemas de gestión del conocimiento [7].

Practicantes e investigadores han observado que para lograr un buen producto de software, el conocimiento, habilidades y experiencia de las personas involucradas en su construcción es un factor clave. Así, Tiwana [8] ha estudiado el papel del conocimiento en el rendimiento de los desarrolladores de componentes de software. Jørgensen y Sjøberg [9] han documentado el impacto del conocimiento derivado de la experiencia en las habi-

lidades para el mantenimiento del software. Steen [10] ha documentado la importancia del conocimiento y las habilidades profesionales en la calidad de los productos.

### 2.1. ¿Qué conocimientos requiere un ingeniero de software?

Quizá el trabajo más citado respecto a las necesidades de conocimiento de los desarrolladores de software es el de Lethbridge [11], quien presenta el resultado de una encuesta con respecto al conocimiento considerado más importante en la práctica. Lethbridge, en el 2000 realizó una encuesta sobre las necesidades de conocimientos de los ingenieros de software, considerando la experiencia de los profesionales que realmente realizan el trabajo en desarrollo de software. Lethbridge detectó que los ingenieros de software pueden carecer de habilidades tales como la negociación, liderazgo e interacción humano-computadora, poniendo en relieve temas que a veces son poco valorados o exagerados, y hace hincapié en las matemáticas, la química y la física donde los profesionales tienden a olvidar, o restar importancia a estas materias.

Por su parte, en [12] Kitchenham y sus colegas presentan un estudio mejor estructurado donde realizan una comparativa con los resultados obtenidos por Lethbridge. En dicho trabajo se presentan los diez temas considerados más importantes en ambos estudios con el fin de hacer comparativas entre los mismos. Es interesante ver que existen similitudes importantes con respecto a los áreas de conocimiento que los desarrolladores de software consideran más importante (ver Tabla 1). La mayor parte de los temas dentro de los diez más importantes coinciden, aunque no necesariamente en la misma posición dentro de cada lista. Para la definición de los temas de conocimiento a considerar en sus estudios, Lethbridge tomó como base el SWEBOK, mientras que Kitchenham se basó en las áreas de conocimiento de programas de estudio de una universidad.

El SWEBOK [2] es un documento desarrollado por la Computer Society de la IEEE para establecer un marco común para la certificación en ingeniería del software. Dicho documento agrupa los temas de conocimiento en quince grandes áreas de la ingeniería del software, y en siete disciplinas relacionadas. Para cada una de las áreas incluye un capítulo donde se indican y describen los tópicos y subtópicos, y se presentan referencias a bibliografía de apoyo para cada tema.

Otro documento importante es la guía para el diseño de currículas en ingeniería de software de la IEEE y la ACM [3], donde se dan recomendaciones para la construcción de programas de licenciatura en el área de la

ingeniería de software. En dicho documento se incluye un capítulo donde se identifican las principales áreas de conocimiento que se deben considerar para dichas currículas, denominado SEEK (Software Engineering Education Knowledge). El SEEK se estructura en tres niveles, en el nivel superior se encuentran las áreas de conocimiento, las cuales se componen de unidades, y éstas últimas de temas o tópicos. El SEEK está compuesto de diez áreas generales, que incluyen aspectos esenciales de las ciencias de la computación, de las matemáticas e ingeniería, así como específicos de la ingeniería de software.

Mientras que el SEEK establece las áreas de conocimiento que deben dominar los recién egresados de una carrera dentro del ramo de la ingeniería del software, el SWEBOK establece lo que debe conocer un profesional de la ingeniería del software que ya se encuentra en el campo profesional. No obstante, debemos tener en cuenta que, además de conocimientos técnicos, un ingeniero debe de poseer habilidades necesarias para poder desempeñar su trabajo de una manera concisa, es decir, lo que se ha denominado como soft skills o habilidades blandas [13]. Las soft skills se han convertido en años recientes en un factor de suma importancia a la hora de evaluar personal en la ingeniería de software, como lo muestran estudios recientes [14, 15, 16]. Sin embargo, ni el estudio de Lethbridge ni el de Kitchenham consideran las soft skills.

En el contexto nacional, diversas iniciativas se han presentado en foros académicos para abordar lo que debería conocer un ingeniero de software, tal es el caso de propuestas de planes de estudio [17, 18, 19], mapas curriculares [20], o cursos clave a ser impartidos en programas con enfoque en el desarrollo de software [21]. Incluso la necesidad de un lenguaje común para el establecimiento de las necesidades de conocimiento en la ingeniería del software a nivel nacional ha sido planteada en [22]. No obstante, no hemos encontrado en la literatura estudios que busquen identificar la opinión de los profesionistas con respecto a sus necesidades de conocimiento. Es por esto que se ha propuesto tomar como base los estudios de Lethbridge y Kitchenham, así como el SWEBOK y el SEEK para analizar las necesidades de conocimiento en desarrolladores de software en la región centro del estado de Sonora, pero también considerando las Soft skills, con el fin de analizar las diferencias y similitudes con respecto a los trabajos aquí descritos.

Tabla 1. Comparativa Lethbridge vs Kitchenham

Lethbridge	Kitchenham
Lenguajes de programación específicos	HCI/ interfaces de usuario
Estructura de datos	Gestión de proyectos
Diseño de software y patrones	Bases de datos
Arquitectura del software	Sistemas operativos
Recopilación y análisis de requerimientos	Recopilación y análisis de requerimientos
Conceptos y tecnologías orientados a objetos	Lenguajes de programación específicos
IHC/ interfaces de usuario	Estructura de datos
Métodos de Análisis y Diseño	Arquitectura del software
Gestión de proyectos	Transmisión de datos y redes
Pruebas, verificación y aseguramiento de la calidad	Métodos de Análisis y Diseño

### 3. Descripción del estudio realizado

Para la realización del presente estudio, se levantó una encuesta en diversas empresas de desarrollo de software de la ciudad de Hermosillo, Sonora. La encuesta se compuso de 3 partes, la primera solicitaba los datos generales del encuestado, en la parte central se ubicaban las preguntas relacionadas con la profesión y por último, una evaluación de tópicos de ingeniería de software. La importancia de cada tópico se midió mediante una escala Likert con valores que van del 1 al 5 (Nada importante, Poco importante, Importancia regular, Importante y Muy Importante), respondiendo el impacto que ha tenido dicho tópico en la escuela, en su trabajo y por supuesto en la carrera profesional como desarrollador del encuestado.

Los tópicos seleccionados para la tercera parte de la encuesta, correspondieron a un análisis de los estudios previos descritos en la sección anterior, donde se seleccionaron aquellos temas en los cuales convergen la mayoría de los autores, además, los tópicos seleccionados se encontraron referenciados en alguna de las 15 áreas del SWEBOK [2] contemplando las 7 disciplinas que lo componen y del cuerpo de conocimiento denominado SEEK [3]. Se agregó un grupo de "Soft skills", que pretende conocer la importancia que se le da a este tema en las empresas, al desarrollar estas habilidades. Las Soft skills son consideradas fundamentales para la formación del ingeniero de software [23]. Sin embargo no se encontraron estudios publicados donde se analice qué tan importantes son estos temas para los desarrolladores. Al final se seleccionaron un total de 77 tópicos divididos en 17 grupos.

Para cada uno de los 77 tópicos se consideraron tres preguntas, cada una de las cuales se respondió usando la escala Likert mencionada:

- ¿Qué tanto el participante aprendió sobre el tópico

en la escuela?

- ¿Qué tanto el participante aprendió sobre el tópico en el trabajo?
- ¿Qué tan importante ha sido ese tópico en la vida laboral del participante?

No obstante, por cuestiones de espacio en este artículo sólo nos enfocaremos a la tercer pregunta.

### 3.1. Elección de la población objetivo

Finalizado el diseño de la encuesta se procedió a obtener el tamaño de la muestra, como no existen datos acerca del número de desarrolladores de software que se encuentran activos hasta la fecha en la región donde se realizó el estudio, la unidad de la muestra para el estudio se definió como el número de "empresas desarrolladoras de software" registradas.

Las empresas que participarían en la aplicación de la encuesta debían de cumplir con las siguientes características:

1. Empresas que laboren en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México.
2. Por lo menos 3 años de operación en la ciudad.
3. Deberá contar por lo menos con 20 personas laborando en la empresa.
4. Deberán de trabajar para empresas trasnacionales.
5. Ser un núcleo de contratación de ingenieros de software recién egresados de las universidades del estado.

Se seleccionaron cuatro empresas que cumplieron con estos criterios para participar en el estudio. De éstas se obtuvo una relación aproximada sobre la cantidad de desarrolladores que tienen actualmente trabajando. En dos de ellas se estima que hay 50 desarrolladores, 12 en la tercera y 8 en la cuarta. En base a la aproximación obtenida se enviaron un total de 120 encuestas, que fueron recolectadas en un lapso no mayor a 90 días.

## 4. Resultados obtenidos

### 4.1. Tamaño de la muestra

De los 120 cuestionarios enviados a las 4 empresas, únicamente regresaron contestados 88, lo que significa que 32 encuestas no fueron respondidas, representando un 26.6% faltante en la muestra.

Para analizar los datos en función del tiempo de experiencia de los desarrolladores, y para equilibrar los tamaños de muestra en cada grupo, las respuestas se organizaron en tres grupos, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Tamaños de muestra por grupos

Grupo	Experiencia (años)	n
1	0 - 3	32
2	3 - 7	33
3	7 en adelante	23

Tabla 3. Cantidad de respuestas por opción

Estructura de datos	Respuestas Escala Likert					Total
	1	2	3	4	5	
3.1.1 Experiencia						
Grupo 1	2	3	9	6	11	31
Grupo 2	1	3	3	7	17	31
Grupo 3	1	0	2	6	14	23

### 4.2. Análisis de las respuestas

Las respuestas se analizaron tópico por tópico, separando las distintas respuestas para cada uno de los grupos de experiencia. Para determinar la importancia general que los participantes dieron a cada tema, se calculó un porcentaje relativo determinado mediante la ponderación de las respuestas obtenidas. Las respuestas 1 al 5 en escala Likert toman un valor ponderado de 0 a 4 respectivamente. El valor total es calculado por la suma de respuestas ponderadas, y el valor máximo es determinado por la puntuación máxima ponderada que puede obtener el tema. Es decir si todo el grupo coincide en que el tema es muy importante. El porcentaje es calculado dividiendo el valor total entre el valor máximo multiplicado por 100. De esta manera, un valor de 0 implicaría que todos los participantes coincidieron en que el tema es Nada Importante, mientras que uno de 100 significaría que todos consideraron dicho tema como Muy Importante.

Como ejemplo del procesado de los datos, la tabla 3 muestra el vaciado de datos para el tópico acerca del tema Estructuras de datos (3.1.1 en la encuesta). Se muestra la frecuencia de respuestas en cada una de las diferentes opciones. Por su parte, la Tabla 4 muestra los porcentajes representativos de estas respuestas, calculados como ya se describió anteriormente. La fila "Total" representa la importancia general del tema, basado en la suma de los resultados ponderados de los 3 grupos.

Una vez obtenido el grado de importancia para cada tema, estos se listaron de mayor a menor importancia para poder identificar cuáles son los más y menos im-

Tabla 4. Cálculo de la importancia general del tema

Experiencia	Valor total	Valor máximo	Total	Porcentaje
Grupo 1	83	124	0.6694	66.94 %
Grupo 2	98	124	0.7903	79.03 %
Grupo 3	78	92	0.8478	84.78 %
Total	259	340	0.7618	76.18 %

portantes. La tabla 5 muestra el listado de los temas en orden de mayor a menor importancia.

## 5. Discusión

En la sección anterior se determinó el nivel de importancia para los tópicos percibida por los desarrolladores de software mediante un promedio de importancia general para cada tema. Dicho promedio fue utilizado para ordenarlos por importancia para conocer cuáles son los temas considerados más importantes en la región.

Como se mencionó anteriormente, en este estudio se consideró un grupo de Soft skills (habilidades blandas) que Lethbridge [11] y Kitchenham [12] no tomaron en cuenta. Cabe destacar que se incluyeron 12 Softskills, 9 de las cuales se encuentran en los 10 temas más importantes. Esto en sí es un resultado importante del estudio, que concuerda con el reciente interés por las habilidades blandas, no sólo en los profesionales de la ingeniería del software, sino en casi cualquier profesión [22].

Debido al resultado anterior, y con el fin de poder comparar los datos obtenidos con los mostrados por estudios previos, se decidió excluir las Softskills para dicha comparación. La tabla 6 muestra una comparativa de los 10 temas más importantes de nuestro estudio (después de excluir las Soft skills).

Como se puede apreciar en la tabla 6 los temas que resultaron mas importantes en nuestro estudio también se encuentran entre los más importantes en otros estudios. Los 8 temas mas importantes se encuentran entre los 10 más importantes de al menos uno de los estudios previos. Otros temas que no aparecen en nuestra lista, y sí en las otras dos se encuentran cercanos a los 10 más importantes, por ejemplo, el tema de Estructura de datos es considerado dentro del top 10 de los estudios de Lethbridge y Kitchenham, y aunque no está entre los primeros 10 de nuestro estudio, se encuentra en la posición 11. Con base en esta comparativa podemos concluir que las necesidades de conocimiento de los desarrolladores de software en la región centro de Sonora es similar a las de desarrolladores en otras partes del mundo.

Tomando en cuenta los resultados descritos creemos que éstos tienen implicaciones importantes para la práctica e investigación en ingeniería del software en la región:

**Competencia internacional.** Suplir las necesidades de conocimiento que presentan los desarrolladores en la región les permitirá ser competitivos internacionalmente, debido a que dichas necesidades son similares a lo que se reporta en el plano internacional.

Tabla 5. Listado de los temas en orden de importancia

Tema	%	Tema	%
Pensamiento Lógico	94.77	Complejidad compl. y análisis de algoritmos	54.31
Resolución de problemas	93.31	Recuperación de la información	52.94
Trabajo en equipo	92.73	Normas de procesos tales como CMM, ISO9000	52.87
Comunicación oral y escrita	91.86	Taller de investigación	52.43
Responsabilidad	91.28	Sistemas de tiempo real	51.83
Proactividad y Toma de decisiones	90.70	Lenguajes formales	51.16
Trabajo bajo presión	90.12	Álgebra lineal y matrices	50.00
Ética Profesional	89.53	Teoría de colas	48.24
Autoorganización	87.50	Teoría del lenguaje de programación	47.70
Conceptos orientados a objetos y tecnología	87.20	Probabilidad y estadística	47.64
Bases de datos	86.49	Teoría de la información	47.09
Lenguajes de programación específicos	85.49	Arquitectura de redes y transmisión de datos	47.06
Diseño de software y patrones	84.52	Métodos comp. para problemas numéricos	46.73
Arquitectura del software	83.73	Teoría de conjuntos	45.88
Pruebas, verificación y Aseg. de la Calidad	83.72	Matemáticas discretas	45.64
Creatividad e innovación	83.53	Teoría de autómatas	45.00
Liderazgo	83.14	Graficación	43.82
Negociación	82.94	Lógica de predicado	43.60
HCI/ interfaces de usuario	79.31	Rec. de patrones y proc. de imágenes	42.65
Requerimientos de recopilación y análisis	78.24	Teoría de grafos	41.57
Diseño de algoritmo	77.68	Simulación	40.59
Confiabilidad de software y tolerancia a fallas	77.06	Arquitectura de sistemas de computadora	39.29
Estructuras de datos	76.18	Telefonía y telecomunicaciones	38.95
Admon. de la Config.	75.87	Combinatorias	38.37
Administración y desarrollo de proyectos	73.65	Análisis y diseño de compiladores	35.59
Métodos de análisis y diseño	73.49	Inteligencia artificial	32.35
Mantenimiento, reingeniería e ing. inversa	72.32	Electrónica digital y lógica digital	30.00
Gestión de proyectos	71.43	Teoría de control	29.46
Medición y análisis de rendimiento	71.43	Calculo diferencial e integral	29.36
Gestión de archivos	70.64	Arquitectura de microprocesadores	28.24
Métodos de especificaciones formales	69.48	Adquisición de datos	28.20
Seguridad y criptografía	67.44	Ecuaciones diferenciales	27.06
Transmisión de datos y redes	65.18	Transformadas de Laplace y Fourier	24.07
Costos y estimación de software	63.51	Química	23.24
Métricas de software	61.76	Procesamiento de señales digitales	22.32
Sistemas de programación	60.06	Electrónica analógica	21.73
Sistemas operativos	58.13	Física	20.54
Procesamiento paralelo y distribuido	54.82	Robótica	18.02

Tabla 6. Comparativa con los estudios de Lethbridge y Kitchenham

Lethbridge	Kitchenham	Nuestro estudio
Lenguajes de prog. específicos	HCI/interfaces de usuario	Conceptos y tecnologías orientados a objetos
Estructura de datos	Gestión de proyectos	Bases de datos
Diseño de software y patrones	Bases de datos	Lenguajes de prog. específicos
Arquitectura del software	Sistemas operativos	Diseño de software y patrones
Recopilación y análisis de requerimientos	Recopilación y análisis de requerimientos	Arquitectura del software
Conceptos y tecnologías orientados a objetos	Lenguajes de prog. específicos	Pruebas, verificación y aseguramiento de la calidad
IHC/ interfaces de usuario	Estructura de datos	IHC/ interfaces de usuario
Métodos de Análisis y Diseño	Arquitectura del software	Recopilación y análisis de requerimientos
Gestión de proyectos	Transmisión de datos y redes	Diseño de algoritmos
Pruebas, verificación y aseguramiento de la calidad	Métodos de Análisis y Diseño	Confiabilidad de software y tolerancia a fallas

**Importancia de las Soft skills.** Es necesario tener muy en cuenta las Soft skills al preparar profesionistas dedicados al desarrollo de software. Dada la similitud en las áreas de conocimiento más relevantes, podríamos considerar que también en el plano internacional las Soft skills pueden resultar incluso más importantes que los conocimientos técnicos.

**Considerar la experiencia de los desarrolladores.** Un aspecto importante que observamos en el estudio es que existen temas en los que el nivel de importancia varía de forma observable dependiendo del nivel de experiencia que tienen los desarrolladores, como se muestra en el ejemplo de la tabla 4. Se observaron temas cuya importancia aumenta conforme aumenta el tiempo de experiencia de los encuestados, mientras que en otros casos disminuye. Esto hace suponer que existen áreas de conocimiento que podrían aumentar o disminuir en importancia según el grado de experiencia de los desarrolladores, o en su defecto, que las necesidades de conocimiento varían de forma observable dependiendo del grado de experiencia. Debido a esto, consideramos que para poder hacer un mejor análisis en estudios posteriores es necesario tener en cuenta este factor, el no considerarlo podría llevar a resultados cuya comparación no sea adecuada. Por ejemplo, podrían ser muy distintos los resultados en una encuesta aplicada a personas con mucho tiempo de experiencia,

a una aplicada a personas con poco tiempo. Por desgracia ni Lethbridge ni Kitchenham proporcionan datos suficientes para poder verificar qué tan similares o distintos son los niveles de experiencia de sus encuestados.

## 6. Conclusiones

El conocimiento es un recurso de alto valor en las organizaciones de software, es por esto que atender las necesidades reales de conocimiento que enfrentan los desarrolladores es de suma importancia. En el estudio presentado en este artículo se buscó identificar cuáles son éstas necesidades al identificar los temas de conocimiento más relevantes para los desarrolladores de software en la región centro del estado de Sonora. De los resultados del estudio podemos concluir que suplir las necesidades de conocimiento que puedan enfrentar dichos desarrolladores los hará competitivos internacionalmente, dado que presentan las mismas necesidades que las reportadas en estudios previos realizados en un entorno internacional. No obstante, se observó que las habilidades blandas, o Soft skills resultan más importantes que los conocimientos técnicos.

Los resultados presentados pueden ser de gran utilidad tanto para la planificación de programas de estudio relacionados con el desarrollo o ingeniería de software, como para el diseño de programas de capacitación para profesionistas en el área de la ingeniería de software. Adicionalmente, consideramos que los datos obtenidos deben ser analizados con mayor detalle con el fin de estudiar las diferencias que se observaron en las respuestas en función del tiempo de experiencia que tienen los desarrolladores. Algunas preguntas que surgen al respecto son ¿Cuáles temas se vuelven más importantes con el tiempo, y cuáles menos importantes? ¿Cuáles podrían ser las razones de estos comportamientos? ¿Qué implicaciones podría tener este comportamiento en el diseño de programas de estudio y planes de capacitación? Parte del trabajo subsiguiente al que aquí hemos presentado se enfocará en buscar respuesta a éstas preguntas.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por PROMEP (Oficio PROMEP/103.5/12/46333), y por el TNM (Oficio 513.1/2171/2014).

## Referencias

- memorias de los talleres del ENC 2004, pp. 387-392, 2004.
- [1] I. Rus and M. Lindvall. "Knowledge management in software engineering". *IEEE Software*, Vol. 19(3), pp. 26-38, 2002. DOI: 10.1109/MS.2002.1003450.
- [2] C.S. IEEE. *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge Version 3.0* (SWEBOK Guide V3.0). IEEE Computer Society Press, 2014.
- [3] C.S. IEEE and ACM. *Software Engineering 2004: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering*. ACM and IEEE, 2004.
- [4] A. Aurum, R. Jeffery, C. Wohlin and M. Handzic. *Managing Software Engineering Knowledge*, Springer, 2003.
- [5] O.M. Rodríguez-Elias, A.I. Martínez-García, A. Vizcaíno, J. Favela and M. Piattini. Modelling and Analysis of Knowledge Flows in Software Processes through the Extension of the Software Process Engineering Metamodel. *Int. J. Softw. Eng. Knowl. Eng.* Vol. 19, pp. 185-211, 2009.
- [6] B.L. Flores-Rios, O.M. Rodríguez-Elias. Experience Factory Infrastructure as a basis for Knowledge Management in a Software Process Improvement Program. In: Aguilar Vera, R.A., Díaz Mendoza, J.C., Gómez Cruz, G.E., and León Bojórquez, E. (eds.) *Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento: Tendencias de Investigación e Innovación Tecnológica en Iberoamérica*. pp. 174-183. Alfaomega, Mérida, México, 2010.
- [7] N. Anquetil, K. M. de Oliveira, K. D. de Sousa and M. G. Batista Dias. "Soft-ware maintenance seen as a knowledge management issue", *Information and Software Technology*, Vol. 49(5), pp. 515-529, 2007.
- [8] A. Tiwana. "An empirical study of the effect of knowledge integration on software development performance" *Information and Software Technology*, Vol. 46(13), pp. 899-906, 2004.
- [9] M. Jørgensen and D. I. K. Sjøberg. "Impact of experience on maintenance skills". *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice*, Vol. 14, pp. 123-146, 2001.
- [10] O. Steen. "Practical knowledge and its importance for software product quality". *Information and Software Technology*, Vol. 49, pp. 625-636, 2007.
- [11] T.C. Lethbridge. "What knowledge is important to a software professional?" *IEEE Computer*, Vol. 33, pp. 44-50, 2000.
- [12] B. Kitchenham, D. Budgen, P. Brereton and P. Woodall. An investigation of software engineering curricula. *J. Syst. Softw.* Vol. 74, pp. 325-335, 2005.
- [13] A. Hart. "Advances in knowledge engineering: do we need psychologists or engineers?" *Comput. Control Eng. J.*, Vol. 1, pp. 209-213, 1990.
- [14] F. Ahmed, L.F. Capretz and P. Campbell. "Evaluating the Demand for Soft Skills in Software Development". *IT Prof.*, Vol. 14, pp. 44-49, 2012.
- [15] G. Pollice. "Soft skills for software engineers". *IBM Developer-Works*, 15-Sep-2006.
- [16] G. Maturro. "Soft skills in software engineering: A study of its demand by software companies in Uruguay". en: 26th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering (CHASE), pp. 133-136, 2013.
- [17] F. Madera Ramírez, C. Mojica Ruiz, and F. Curi Quintal. "Diseño e implementación de un programa de Licenciatura en Ingeniería de Software". en: *Avances en Ciencias de la Computación: Taller de Ingeniería de Software, ENC 2005*, pp. 37-40, 2005.
- [18] R. Ruiz-Rodríguez and M. A. Moreno-Rocha. "La Ingeniería de Software como Proceso Permanente en la Enseñanza de la Computación". en: *Avances en Ciencias de la Computación: memorias de los talleres del ENC 2003*, pp. 345-350, 2003.
- [19] M. A. Moreno Rocha, R. Riuiz Rodríguez, and J. Muñoz Artega. "Towards a Better Practice in Software Engineering Education and Academic Research: the CASI Considerations Proposal". en: *Avances en Ciencias de la Computación: Memorias de los talleres del ENC 2004*, pp. 393-398, 2004.
- [20] F. Alvarez R., J. Cardona S., and A. Weitzenfeld R. "Propuesta de una línea curricular de Ingeniería de Software en la Licenciatura en Sistemas Computacionales". en *Avances en Ciencias de la Computación: memorias de los talleres del ENC 2004*, pp. 339-344, 2003.
- [21] H. Oktaba. "Ingeniería de Software: trayecto personal desde la programación a la producción de software". en: *Avances en Ciencias de la Computación: memorias de los talleres del ENC 2003*, pp. 339-344, 2003.
- [22] O. M. Rodríguez-Elias and A. I. Martínez-García. "Hacia la definición de un esquema de clasificación de áreas de conocimiento para ingeniería de software en México". en *Avances en la Ciencia de la Computación: memorias de los talleres del ENC 2006*, pp. 47-52, 2006.
- [23] M. Frank. "Characteristics of engineering systems thinking - a 3D approach for curriculum content". *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C (Applications Rev.)* Vol. 32, 203-214, 2002.

# Monitoring Healthcare Activities toward Automatic Recognition using Accelerometers

Daniel Issac Marmolejo-Pereira, Francisco E. Martínez Pérez, José I. Nuñez-Varela, Héctor G. Pérez-González, Sandra Edith Nava-Muñoz, J. Antonio Cárdenas-Galindo, F. Javier Ramírez-Aguilera

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Av. Dr. Manuel Nava No. 8, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P., México, 78290.

*Daniel.Marmolejo108@alumnos.uaslp.mx, {eduardo.perez, jose.nunez}@uaslp.mx, hectorgerardo@acm.org, {senavam, jcardena, javier}@uaslp.mx*

2014 Published by *DIFU*<sub>100ci</sub>@ <http://nautilus.uaz.edu.mx/difu100cia>

---

## Abstract

Intelligent homes should be able to recognize human activities in order to assist people in their daily life. In particular, this is important for healthcare related activities, where people can be reminded of taking some medicine or checking their blood pressure. Not only that, an intelligent system should also be able to verify the correct performance of that activity. Nevertheless, human activity recognition is not trivial and much work still needs to be done. This paper presents a study that show how the activity of measuring blood pressure is performed by professional nurses. This, with the purpose of developing an intelligent system that takes into account the way that the activities are performed by people. A video recording of the activity along with accelerometers attached to manometers allow us to obtain 29 patterns that will help us to code this activity in computer readable form for posterior use by a recognition system.

*Keywords:* Activity recognition, accelerometers, intelligent homes.

---

## 1. Introduction

The idea behind building intelligent homes or buildings is to assist people in their daily life activities in order to make those activities more efficient. To do so one of the basic tasks of an intelligent home should be that of recognizing activities performed by the people living there (e.g. cooking, reading, sleeping, etc.). Healthcare activities are particularly important, so that people can be reminded of taking their medicine, checking their blood pressure, etc. Nevertheless, the

recognition of human activities is not a trivial task. In order to recognize certain activity it is required to first analyze that activity to have a better understanding of it.

The goal of this paper is to analyze how a healthcare activity is performed, namely the measuring of blood pressure. The origin of non-transmissible diseases is associated with risk factors related to harmful life styles. For example, high blood pressure is an important risk factor for predicting several disease. In order to know if a person has this factor, her blood pressure needs to be measured often [1]. Moreover, this risk factor might

produce other disorders such as heart attack, cardiac insufficiency and so on. Therefore, measuring blood pressure is an extremely important activity to human being health.

Knowledge about how people perform daily activities has inspired research related to the monitoring of interactions with domestic objects associated with the completion of each activity. For example a simple state-change sensor can be used to detect any change of state of an object which can subsequently be used to reflect the interactions of a human being with the object. In this sense, sensors transform a physical signal into an electrical signal that can be manipulated symbolically on a computer [2]. In addition, the goal of an intelligent system for human activity recognition consists of automatically analyzing and classifying activities with information gathered from different capture sources like video cameras or other sensors such as accelerometers.

In this work, we are concerned with monitoring healthcare activities, in particular the blood pressure measurement activity. This paper describes a case study in order to understand the details in a real scenario where this activity is performed by professional nurses. Therefore, we used cameras with the purpose to gain insights into the activities that people perform and to complement our investigation. We considered that this understanding is a main phase in the monitoring healthcare activities toward automatic recognition.

One of our purposes is to understand as much as possible about the users, the activities they perform, and the context of those activities [3] so that we can develop a system that can support users in achieving their goals based on real evidence such as shown in [4, 5]. An example is shown in [6] where they present a study focused on a wearable system with the purpose to monitor systolic blood pressure (SBP) overnight, especially to measure the average SBP over a long period. In their study ten healthy young subjects were recruited with the goal to investigate whether pulse transit time can be a surrogate of 24-h blood pressure in an unattended environment.

One interesting approach is shown in [7]. The authors shown a study which blood pressure (BP) was monitored over a period of about 1 year in 61 subjects. In that study the authors evaluated the participation in a continuous health care monitoring using several physiological parameters and they concluded that, "The long-term repeated use of home blood pressure testing may be a good self-care strategy for monitoring daily health". Therefore, it is very important to know what is the correct way to perform the blood pressure activity, so in our research we take into account the behavior

performed by professional nurses.

Other authors have been worked on using the data with the aim to segment data such as shown in [8], they proposed three segmentation algorithms to separate time series sensor data into segments to be further processed by an activity recognition algorithm. In this direction, we are using accelerometer data to segment the blood pressure activity based on human being movements. In [9, 10, 11] the authors focused on using several sensors, but they do not highlight any previous work related to understanding the scenario as we propose.

This paper is organized as follows. Section 2 introduces the methodology followed for this study. Section 3 shows the results by means of a particular example. Finally, Section 4 provides our conclusions and directions of future work.

## 2. Methodology

As stated in the previous section, the aim is to analyze and understand how the activity of measuring blood pressure is performed. The data produced by this analysis will later be used by an intelligent system that should be able to recognize that particular activity. This can be done by keeping track of those objects used during the performance of such activity. For the activity concerned in this paper, the only object that needs to be tracked is the manometer. To track this object we attached an accelerometer which provides information about the movement of that object. Furthermore, in order to be certain that the activity is performed correctly we hired two professional nurses.

In summary, the goals of this study is to: (1) understand how the activity of measuring blood pressure is performed by a professional nurse; (2) identifying the way the nurse handles objects when performing that activity; (3) obtaining the patterns produced by accelerometers attached to the manometer. Video cameras were also used to record the whole study in order to link the data obtained from the accelerometers to the actions performed by the nurse.

### 2.1. Subjects

The study took place at our Usability Lab. A group of 31 volunteers (7 females and 24 males) were monitored and recorded while measuring their blood pressure. The average age for the whole group was 28 years. Additionally, the activity was performed by two professional nurses. Both nurses have four years of

## Accelerometers' antennas

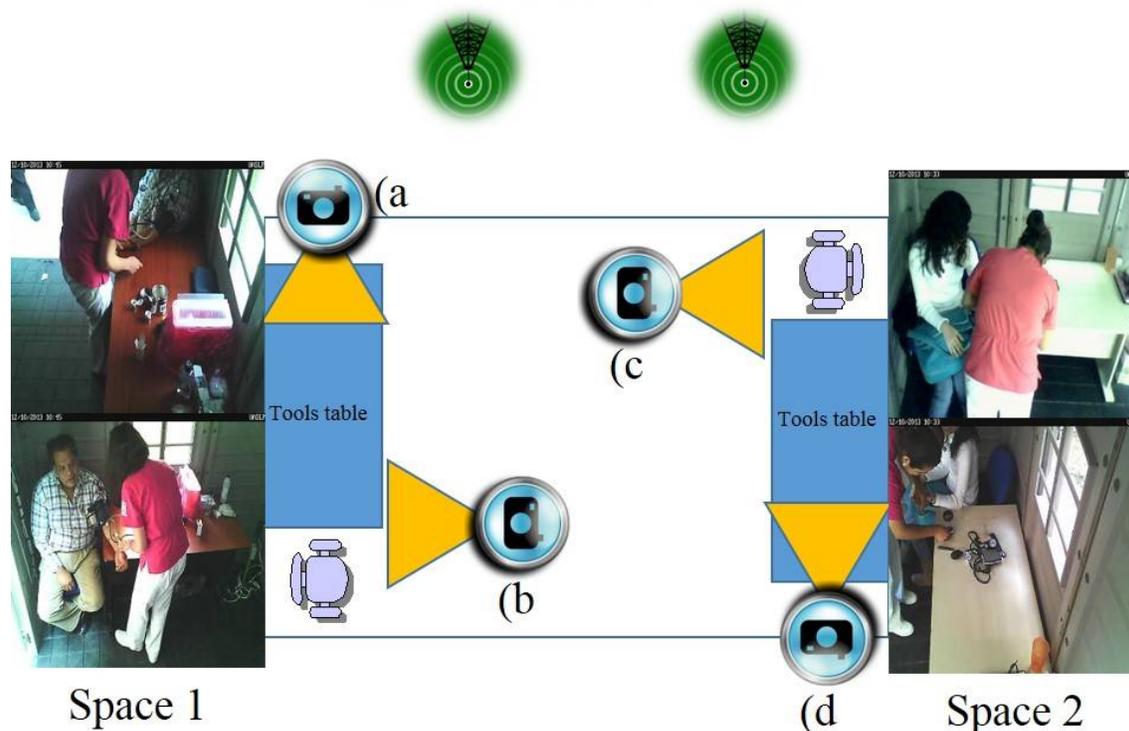


Figure 1. Scenario used, a-d)Position of the cameras in the usability lab.

experience. All participants were reported to be healthy.

### 2.2. Technical Information

The case study was recorded with four cameras: two cameras were located in the ceiling of the laboratory (Figure ??b and ??c), and the rest were located close to the tools tables (Figure ??a and ??d). The whole study was recorded and lasted for around 1.5 hours. The cameras used are a wvc53gca Linksys model. The video was captured using MPGe-4 format having a resolution of 320 X 240 pixels, the frame rate was 10 frames per second.

Additionally, two accelerometers were attached to two manometers used to measure blood pressure. The accelerometers provided close to 51,000 data samples for the duration of the case study (i.e. one hour and half). The accelerometer used in our study was a Freescale D3172MMA7455L model. It has a high sensitivity (64 LSB/g at 2 g and 64 LSB/g at 8g in 10-bit mode); a 1-pole low pass filter; the receiver supports 16 sensors per one USB stick allowing the identification of multiple objects, and the power consumption is low voltage operation (2.2-3.6 V). We used the default configuration

for their implementation. The information produced by the accelerometers is the acceleration measurement related to the three coordinate axes (x,y,z). Also, it is possible to use the concentrate of these values as the absolute value expressed in terms of g-force (g). Thus, this absolute value was used to show how objects are handled. This kind of technology is very sensitive to movements, so the variations begin to be recorded when the accelerometer starts to move. An important thing to note is the effective area of the receiving antenna, which is large enough to recognize several objects that could be used in a given setting. Also, because of this sensitivity it is necessary to establish a threshold to interpret the input signal. With a threshold, even if the signal is very variable, we can infer that the accelerometer is being used, otherwise we assume that it is immobile.

### 2.3. Description

Everytime a menometer is handled by a nurse, a pattern of movements is produced, where these movements are given by the accelerometer. These patterns provide a possible representation of the activity for blood pressure

measuring.

Two accelerometers and two antennas were used, where each accelerometer sent signals every time it was moved around, and each antenna received the accelerometer's signal.

We created a system with the purpose to acquire the accelerometer's signals. This system is able to link the accelerometer signal to the video sequence. Two cameras were synchronized to one of the accelerometers. Hence, two video sequences were produced for each accelerometer.

The implemented process in the study was as follow. Two antennas were installed and connected to two computers at the back of our Usability Lab. Each antenna received the data related to its corresponding accelerometer, where each accelerometer was attached to a blood pressure device. The data were stored and processed in a database on each computer.

It is important to determine whether an accelerometer is moving or not. When an accelerometer remains immobile, the received value is approximately 1.0, therefore we established two values as thresholds (1.5 and 0.5). If the accelerometer remains in the range this means that the object is immobile on a base location (tools table), otherwise it means that the object has been handled. The manometer had to be placed in the tools table whenever it was immobile.

Each nurse attended a subject one by one. However both nurses were working simultaneously.

### 3. Results

We analyzed the data gathered from the two accelerometers and their corresponding video sequences manually. This resulted in 29 patterns produced by the accelerometer when the activity was performed. Two patterns were not used due to the fact that the signal was lost during the task. This happened because the antennas were installed near to a window metal, so the signal was lost while the antenna was on that place.

As mentioned above, 51,000 samples were obtained and stored in a database. 28,000 samples were obtained by one antenna, and 23,000 by the another antenna. The data consists of an ID related to each signal produced by accelerometer, and the information produced by the accelerometers. The absolute value of

the accelerometer was used to show how the objects are handled. Also the date and time were stored in a database. Finally, the number of each frame and the name of the video file were stored. The latter was linked to each signal produced by one accelerometer. So each time a change from 0 to 1 (or viceversa) happened a sample was recorded in the database.

#### 3.1. Understanding the activity of measuring blood pressure

On average, the whole activity of measuring blood pressure used 1,200 samples (i.e. two minutes approximately). This happened each time the nurse performed the activity. Figure 2 shows an example of one pattern for the duration of a single activity. This is described as follows:

1. The nurse grabs the manometer from the table (Figure 2b).
2. The manometer is placed around the arm of patient (Figure 2c).
3. The nurse starts to pump rapidly with her hand and let the air out slowly (Figure 2d).
4. The nurse starts to remove the manometer from the patient's arm (Figure 2e).
5. The nurse removes the manometer, which produces a stronger movement of the device (Figure 2f).
6. The manometer is placed on the table (Figure 2g).

This list shows specific and important events related to the way in which a professional nurse performs the activity. As mentioned above, the accelerometers are very sensitive to movements, so the variations begin to be recorded when the accelerometer starts to move, as can be seen in Figure 2a). Firstly, at sample number 27, the accelerometer signal was a little high. It was produced by the patient when she hit the table. Therefore, the activity started at that point.

As mentioned above, two cameras were synchronized to an accelerometer's signal. This allowed us to create a visual story based on movements or events as shown in Figure 2, and also a meaning was produced by each event when the object was handled within the activity.

Another important event is related when the activity was performed, it was included in Figure 2d-e. It is important to note that, the total time of the activity was 96 seconds but only 33 seconds were used for the

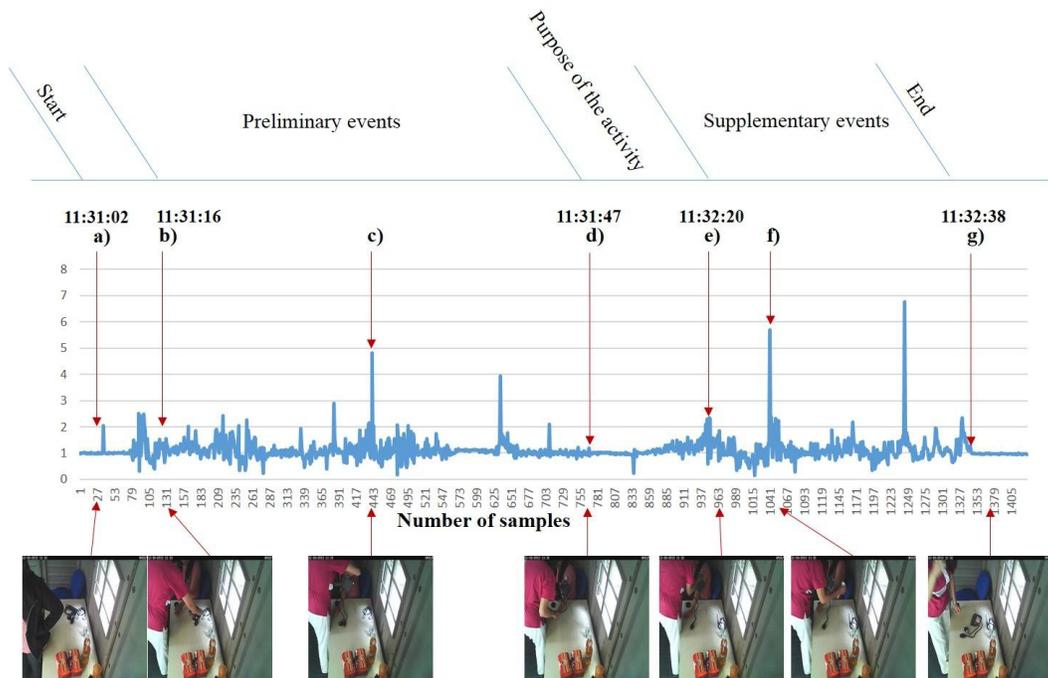


Figure 2. Raw data related to absolute values of an accelerometer.

actual measuring of the blood pressure. The rest of the time was used for preliminary or supplementary events.

As a result of this analysis, we identified the way in which measuring the blood pressure is performed by a professional nurse. Moreover, we obtained the data of the accelerometers used when performing such activity based on human behavior.

#### 4. Conclusions

We conclude that activity recognition is a complicated process, so it is necessary to take into account several details related to human activities such as we have shown in this paper.

The accelerometers are very sensitive to movements, so the variations are an important cue when it is attached to object. It is because each movement is an event produced by the object while an activity is performed. Each event provides a meaning of the activity based on how objects are handled, as well as human behavior. Therefore, the understanding was obtained and we believe that our study is necessary to get important insights such as needs, requirements, capabilities, current tasks and goals, the conditions under which the object will be used and constraints on the object's performance within activities that human being performs.

The results obtained in this work will be used to develop an intelligent system. As a future work, we wish to apply data mining and artificial intelligence techniques in order to infer new activities based on the behavior of humans.

#### 5. Acknowledgment

This work was funded by PROMEP under the contract PROMEP-103.5-13-6575 (UASLP-PTC-452) provided by the second author.

#### References

- [1] L. Reynoso Erazo, M. A. Calderón Márquez and I. Seligson Nisenbaum "Manual para conocer La Hipertensión arterial", *Universidad Nacional Autónoma de México*, (ISBN=9789703224708),2005.
- [2] A. Sears and J.A. Jacko "Human-Computer Interaction" *CRC Press Taylor & Francis Group*, (ISBN = 978-1-4200-8881-6), 2009.
- [3] J. Preece, Y. Rogers and H. Sharp "Interaction design" *Editor, Apogeo*, (ISBN = 9788850320042), pp. 528,2004.
- [4] S. Nava-Muñoz, A.L. Morán and J. Favela "Providing Awareness of Elders Situations of Care through a Context-Aware Notification Environment" *2010 Sixth International Conference on Intelligent Environments, IEEE* (ISBN = 978-1-4244-7836-1), pp 134-139,2010.
- [5] F.E. Martinez-Perez, J.A. Gonzalez-Fraga and M. Tentori "Artifacts' Roaming Beats Recognition for Estimating Care Activities

- in a Nursing Home” *4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare 2010*, 2010.
- [6] Y-L. Zheng, B. P. Yan, Y.T. Zhang and C. Poon “An Armband Wearable Device for Overnight and Cuff-Less Blood Pressure Measurement” *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING* Vol 61, No. 7, pp 2179-2186, 2014.
- [7] T. Tamura, I. Mizukura, M. Sekine and Y. Kimura “Monitoring and Evaluation of Blood Pressure Changes With a Home Healthcare System” *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* Vol 15, No. 4, pp 602–607, 2011.
- [8] X. Hong and C.D. Nugent “Segmenting sensor data for activity monitoring in smart environments” *Personal and ubiquitous computing* (issn = 1617-4909), Vol 17, No. 3, pp 545-559, 2013.
- [9] T. Gu, L. Wang, Z. Wu, X. Tao and J. Lu “A pattern mining approach to sensor-based human activity recognition” *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* Vol. 23, No. 9, pp 1359-1372, 2011.
- [10] H.J. Baek, G.S. Chung, K.K. Kim and K.S. Park “A smart health monitoring chair for nonintrusive measurement of biological signals” *Information Technology* (ISSN = 1558-0032), Vol 16, No. 1, pp 150–8, 2012.
- [11] N.J. Cleven and J.A. Muntjes “A novel fully implantable wireless sensor system for monitoring hypertension patients” *Biomedical IEEE* (ISSN = 1558-2531), Vol. 59, No. 11, pp 3124–30, 2012.

