




RECIBE
Revista electrónica
DE COMPUTACIÓN, INFORMÁTICA, BIOMÉDICA Y ELECTRÓNICA



Índice

Computación e Informática

Estudio cualitativo de la relación de las leyes y la pericia informática en el Ecuador I

Francisco Bolaños-Burgos
Christopher Gómez-Giacoman

Una Revisión Sistemática en los Marcos de Trabajo de Desarrollo Software en las MiPyMEs Productoras de Software II

Antonio A. Aguilera
Grisel B. Ancona
Edwin J. León
Juan P. Ucán

Electrónica

Evaluación de desempeño de los estimadores de desplazamiento de frecuencia de portadora en sistemas variantes en el tiempo III

Luis Oswaldo Chávez Torres
Roberto Carrasco Alvarez

Biomédica

Mapeo cromático dental a partir de imágenes digitales IV

Josué González Sandoval

Montserrat Stephania Martínez Alvarez

Patricia Alejandra Brand Rubalcava

Sulema Torres-Ramos

Israel Román-Godínez

E. Gerardo Mendizabal-Ruiz



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Estudio cualitativo de la relación de las leyes y la pericia informática en el Ecuador

Francisco Bolaños-Burgos
Facultad de Sistemas, Telecomunicaciones y Electrónica
Universidad Espíritu Santo - Ecuador
fcobolanos@uees.edu.ec

Cristopher Gómez-Giacoman
Facultad de Sistemas, Telecomunicaciones y Electrónica
Universidad Espíritu Santo - Ecuador
cgomezg@uees.edu.ec

Resumen: El presente trabajo analiza cualitativamente las leyes vigentes en el Ecuador relacionadas a los procesos de la pericia informática. Para aquello, se estudia los pasos empleados por un perito de la Policía Nacional en el desarrollo de los casos de delito informático, suscitados en el periodo 2012-2014, que implican la evidencia digital en: disco duros, cuentas de correo electrónico, redes sociales y motor de base datos. Apartir de los casos analizados, se puede concluir que la ley contempla una mayor cantidad de artículos relacionados a las bases de datos. Sin embargo, se tendría que analizar otros tipos de evidencia digital tales como: documentos de ofimática, imágenes digitales, ficheros de registros de actividad, memoria volátil, entre otros.

Palabras Clave: Pericia Informática, evidencia digital, perito informático, Código Orgánico Integral Penal (COIP).

Qualitative study of the relation of the laws and the IT know-how in the Ecuador

Abstract: This paper analyzes qualitatively the current laws in Ecuador related to the computer forensic processes. For this, the steps applied for a computer expert of the Policía Nacional in the development of some computer forensic cases are analyzed, during the years 2012-2014. These cases focus on digital evidence such as: hard disk, email accounts, social networks and database engine. From the examination of the cases, we concluded that the law provides a greater amount of articles related to database. However, other types of digital evidence would have to be studied which are: offimatic documents, digital images, file activity logs, volatile memory, among others.

Keywords: Computer Forensics, digital evidence, computer expert, Código Orgánico Integral Penal (COIP).

1. Introducción

En el Ecuador las investigaciones realizadas acerca de pericia informática son de bajo interés, una de las causas es el desconocimiento del tema por parte de la sociedad, adicional a la falta de procedimientos registrados de delitos informáticos competentes a las autoridades o entidades gubernamentales. (Ferruzola, 2014). Vizueta (2011) indica que la falencia principal de la pericia informática en el Ecuador es la carencia de peritos que tengan conocimientos informáticos adecuados obteniendo como resultado impunidad de casos debido a la falta de conocimientos, pocas habilidades idóneas para la

utilización de medios tecnológicos en la adquisición de pruebas, y una correcta legislación de acuerdo a los delitos informáticos actuales.

Con los antecedentes se puede observar que, en el país las falencias detectadas tales como la falta de capacitación y conocimiento, una incorrecta legislación, y la falta de procedimientos registrados de los delitos informáticos por parte de las entidades (Ureta, 2015), han producido que la pericia informática no tenga la fortaleza suficiente generando malos procesos los cuales se convierten en casos impunes (López, 2014). Por este motivo es importante realizar un estudio que evidencie si las leyes de delito informático en el Ecuador abarcan toda la perspectiva del mismo. (Ojeda, 2014)

Este estudio tiene como objetivo analizar las leyes vigentes en el Ecuador (COIP) relacionadas a los delitos informáticos y los procesos de pericia informática. Para lo cual se han escogido tres casos reales obtenidos en los archivos del departamento de criminalística de la Policía Nacional, con la finalidad de conocer la cantidad de artículos del COIP que se relacionan con la evidencia digital.

2. Marco Teórico

2.1 Informática Forense

Warren & Heiser (2002) definen la informática forense como la participación de la preservación, la identificación, la extracción, la documentación y la interpretación de los datos informáticos. Igual que (Yasinsac, Erbacher, Marks & Pollitt, 2003) quienes dicen que las técnicas y los conocimientos forenses se utilizan para explicar el estado actual de un artefacto digital; tal sistema informático como medio de prueba. De la misma manera Carroll, Brannon & Song (2008) definen la informática forense como: El uso de métodos científicamente probados y derivados hacia la preservación, recopilación,

validación, identificación, análisis, interpretación, documentación y presentación de evidencia digital derivados de fuentes digitales con el fin de facilitar o promover la reconstrucción de los hechos que son de índole penal. Mientras tanto US-CERT (2008) la define como la disciplina que combina elementos de derecho y ciencias de la computación para recopilar y analizar datos de los sistemas informáticos, redes, comunicaciones inalámbricas y dispositivos de almacenamiento de una manera que es admisible como prueba en un tribunal de justicia. Como se puede ver los cuatro autores coinciden en que la informática forense se basa en una secuencia de procesos que recopilan y analizan los datos con el fin de ser presentados en la Corte, La Figura 1 muestra en detalle este proceso.

2.2 Evidencia Digital

Casey (2004) indica que la evidencia digital, pruebas digitales o pruebas electrónicas son cualquier información probatoria almacenada o transmitida en forma digital que se puede utilizar en la Corte. Así mismo, esta puede ser definida como el conjunto de datos en formato binario que incluye archivos, contenido o referencia a estos (metadatos) que se encuentran en el hardware o el software del sistema violado, la evidencia digital es única en comparación con otras formas de "pruebas documentales" (Accorsi, 2009). Sin embargo, Lin, Chao & Peng (2011) definen la evidencia digital como: toda la información verificable que se encuentra en el sistema electrónico, que proporciona algunos datos para el análisis informático forense posterior el cual puede ser de tipo físico o lógico, está construida de campos magnéticos y pulsos eléctricos que son recogidos y analizados con herramientas y técnicas especiales. A diferencia de los documentos en papel, la evidencia digital es frágil y una copia de un documento almacenado en un archivo es idéntico al original (Osborne & Mata, 2011). Antes de aceptar la evidencia digital, un tribunal determinará si la prueba es pertinente, si es auténtica, si se trata de

rumores y si una copia es aceptable o se requiere el original, esta posee las siguientes características:

1. Volátil.
2. Anónima.
3. Duplicable.
4. Alterable y modificable.
5. Elimidable.

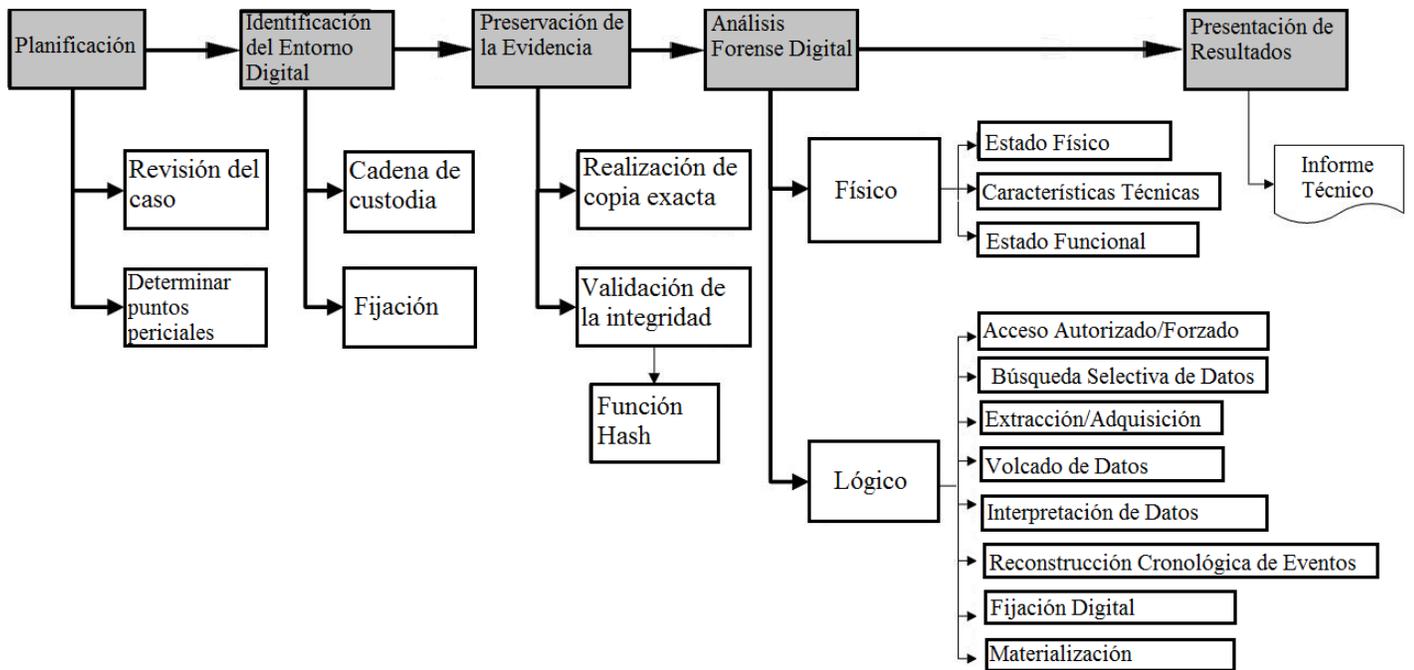


Figura 1.

Procesos de computación forense

Fuente: (Bogen & Dampier, 2005)

2.3 Metadato

Los metadatos son datos sobre los datos (Steinacker, Ghavam, & Steinmetz, 2001). Dick CA (2004) dice que los metadatos son descripciones estructuradas

opcionales que están disponibles públicamente para ayudar de forma explícita en la localización de objetos. Al igual que Wroe et al (2004) quienes dicen que los metadatos facilitan el flujo de trabajo de forma automática convirtiendo datos de un formato a otro, se requiere que los metadatos describan el contenido y la estructura de los mismos. Kosch et al (2005) indican que algunos metadatos permiten una compresión de datos más eficiente. El término es ambiguo, ya que se utiliza para dos conceptos fundamentalmente diferentes, metadatos estructural es sobre el diseño y la especificación de estructuras de datos y está más adecuadamente llamado "datos acerca de los contenedores de datos"; mientras que los metadatos descriptivos, por otro lado, tratan casos individuales de datos de aplicación, el contenido de datos, (Hua et al, 2011). Los autores antes mencionados coinciden en que los metadatos son datos acerca del contenido, ubicación, estructura y la compresión

2.4 Imagen Forense

Creutzburg & Luttenberger (2011) dicen que: "La imagen se copia uno a uno del objeto que se examina, en las imágenes de disco duro y volcados de memoria se buscan datos interesantes, como imágenes, archivos o archivos borrados de registro". Igual que Iqbal, B., Iqbal, A., Guimaraes, Khan & Obaidli (2012) quienes indican que una imagen forense es una copia "bit a bit" del disco duro objeto, en el cual se llevará a cabo todos los análisis pertinentes, búsquedas selectivas de datos o archivos que son de interés para la autoridad competente, la imagen forense se realiza para cumplir con uno de los protocolos de la informática forense que es la preservación de la evidencia digital y el principio de la cadena de custodia para preservar el medio magnético original. Los dos autores coinciden en que la imagen forense es una copia exacta del original.

2.5 Cadena de Custodia

Caloyannide & Grumman (2009) la definen como el procedimiento que debe garantizar que los procesos de recolección de las evidencias se realizaron correctamente, y que la evidencia recolectada en la escena es la misma que se presenta en la corte, el procedimiento a seguir en relación con la evidencia en la escena y durante todo el proceso de investigación es la recolección y almacenamiento de pruebas, las etapas de la cadena de custodia son:

1. Eliminación o la recopilación de pruebas.
2. Conservación y empaquetado de las pruebas.
3. Transporte de las pruebas.
4. Transferencia, ya sea a los laboratorios o a las diferentes oficinas para su custodia.
5. Se lleva a cabo la custodia y preservación definitiva hasta el debate

Lee, K., Lee, C., Park, Kim, & Won (2011) la definen a la cadena de custodia como el procedimiento de control que se aplica a la evidencia física relacionada con el delito, desde su ubicación para su evaluación por los responsables del análisis que por lo general son los peritos, y con el fin de evitar alteraciones, sustituciones, contaminación o la destrucción desde la ubicación, fijación, recolección, embalaje y transporte de la evidencia en la escena del incidente hasta la presentación al debate.

2.6 Delitos Informáticos

Bojanc & Blažic (2008) definen que un delito informático o ciberdelincuencia es cualquier acción, característica ilícita y culpable, que se da por métodos informáticos o pretende destruir y dañar ordenadores, medios electrónicos y redes de Internet. Mientras que Yen, Lin, & Chang (2011) definen que los delitos informáticos tienen un alcance mayor y puede incluir delitos

tradicionales como el fraude, el robo, chantaje, falsificación y malversación de fondos públicos en los ordenadores y las redes que se han utilizado como medio.

2.7 Ley Informática

Colombia (2009) define que la ley informática tienen como objetivo la protección integral de los sistemas que utilizan tecnología de información, así mismo como la prevención y sanción de delitos cometidos contra tales sistemas o algunos de sus componentes o los cometidos mediante el uso de dicha tecnología. Mientras que Ecuador (2014) define la ley informática como el conjunto de ordenamientos jurídicos establecidos con el fin de regular el tratamiento de la información.

2.8 Código Penal

El código penal es un conjunto ordenado y sistematizado de normas jurídicas punitivas de un estado o país, en el año 2013, la Asamblea Nacional de la República del Ecuador promulgó el nuevo COIP (Blum, 2010). En la Tabla 1 se muestra un resumen del Código Penal en relación con las penas para delitos informáticos en el país.

Artículo	Area de Estudio
103	Violación a los derechos humanos, diversas formas de explotación.
178,179,180	Delitos contra el derecho a la intimidad personal y Familiar.
182	Delito contra el derecho al honor y buen nombre.
190, 191, 192, 193, 194, 195	Delitos contra el derecho a la propiedad.

221	Delitos contra el derecho a la identidad.
229, 230, 231, 232, 233, 234	Delitos contra la seguridad de los activos de los Sistemas de Información y Comunicación.
298	Delitos contra el Régimen de Desarrollo.
453, 454	Prueba, disposiciones generales.
475, 476, 477	Actuaciones especiales de investigación.
498	Medios de prueba.
499, 500	Documentos, reglas generales.
511	La pericia, reglas generales.

Tabla 1.

Resumen del código penal basado en Código Penal del Ecuador

Fuente: Elaboración propia en base a Código Orgánico Integral Penal del Ecuador (COIP)

2.9 Mecanismos de seguridad en la evidencia digital

Torres, Rueda, & Cano (2004) dicen que durante la recolección y análisis de la evidencia digital, el perito debe utilizar métodos para verificar y mantener la integridad de los mismo, debido a que es vital la preservación de la evidencia ya que se debe recolectar sin altearla, una manera de garantizar la integridad de la evidencia digital es utilizando algoritmos Message Digest o Función Hash por ejemplo: MD5, SHA1, SHA256, etc.

Una función de hash es un algoritmo usado para producir una secuencia de caracteres de longitud fija, basada en una entrada de longitud variable, cualquier entrada dada siempre produce el mismo resultado, pero si un bit en la entrada cambia, la salida del hash cambiará significativamente y de forma aleatoria (Ke et al, 2011). Por otra parte, Creutzburg & Luttenberger (2011)

dicen que los códigos hashes son muy importantes para la informática forense, porque son la huella digital de los datos. Los dos autores concluyen que los códigos hashes son caracteres que deben tener siempre el mismo valor, caso contrario los códigos han sido alterados.

2.10 Herramientas Forenses

Malek (2008) indica que son dispositivos electrónicos que ayudan a mantener la integridad de los datos y el procesamiento de los mismos, pero se requiere de una especialización y conocimientos avanzados en la materia para la utilización correcta de estas. Mientras que Sánchez (2013) dice que las herramientas forenses son equipos que ayudan a obtener datos de registros como: información del sistema, información de aplicaciones, ficheros ejecutables, y más. Los dos autores indican que con el fin de realizar un correcto levantamiento de información el perito debe contar con herramientas y técnicas especialmente diseñadas para ello.

3. Metodología

Esta investigación aplicará una metodología con enfoque cualitativo utilizando un muestreo por conveniencia ya que los casos analizados son representativos de la evidencia digital en el ámbito civil los cuales son: discos duros, cuentas de correo electrónico, redes sociales y motor de base datos, en el periodo comprendido entre los años 2012-2014.

La primera fase fue determinar los casos que se analizarán, se incluyeron sólo los tres debido a que el acceso a los mismos no es tan factible, a pesar de que estos una vez sentenciados son de dominio público.

A partir de lo anterior, se realizó una entrevista a un Perito Policial el cual dio la descripción de los equipos y los procesos que utiliza la Policía Nacional para

realizar trabajos de pericia informática, lo siguiente fue establecer los procesos y herramientas que se necesitan para realizar una pericia informática de forma correcta siguiendo las Directrices para la recolección de evidencia, aplicando las buenas prácticas de Request for Comments (RFC). (Instituto Nacional de Ciberseguridad, 2014)

Por consiguiente se clasificó la información considerando cada uno de los casos analizados. Luego, se procedió con el análisis de la información utilizando técnicas de estadística descriptiva tales como: tablas de contraste y gráfico de dispersión que facilitan la exposición de diferencias y similitudes entre los procesos y artículos del COIIP utilizados en cada uno de ellos.

Finalmente, esto llevó a contrastar los resultados examinados y permitió presentar un resumen en el que se muestra si las leyes vigentes en el Ecuador cubren los diferentes tipos de evidencia digital y sus respectivas tipificaciones.

4. Desarrollo

4.1 Caso 1

Adquisición y preservación de imágenes forenses de discos duros operativos en CPUs o equipos portátiles

4.1.1 Descripción

El siguiente es un caso real, tomado de los archivos del Departamento de Criminalística de la zona 8 sobre Lavado de Activos relacionados con la evidencia incautada en un operativo de la Unidad de Lavado de Activos (ULA), las pruebas fueron ingresadas en las bodegas de la Policía Judicial de la Zona 8, de la cual se va a tomar un elemento (laptop) para ilustrar los procedimientos

aplicados por los especialistas del Departamento de informática Forense, al adquirir y preservar un disco duro alojado dentro de un equipo en la pericia.

4.1.2 Proceso

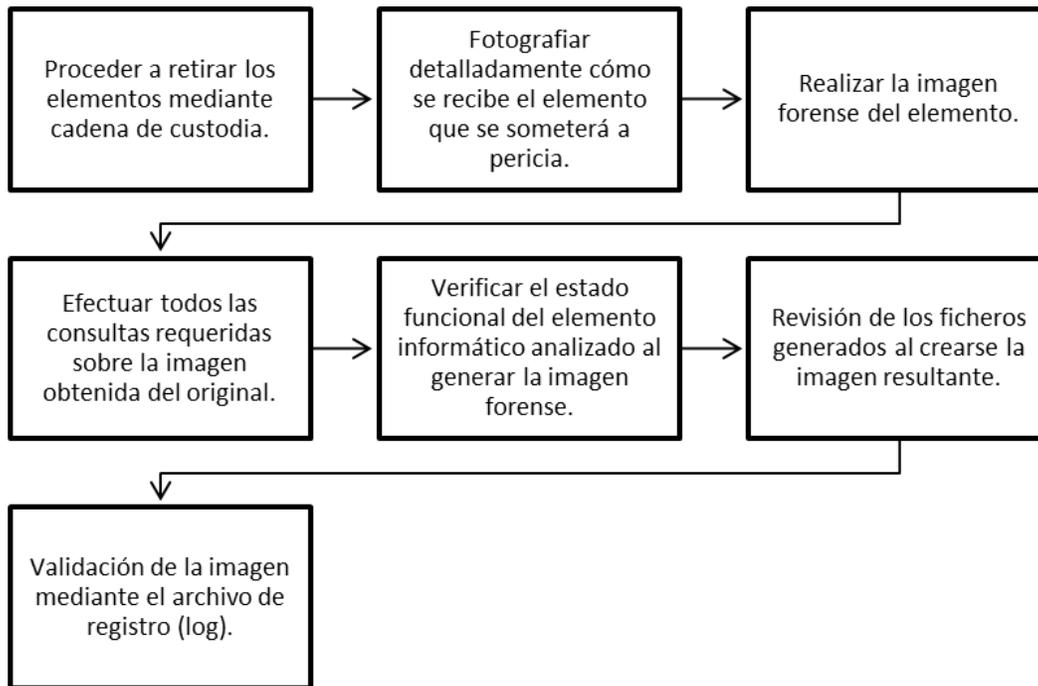


Figura 2.

Diagrama de pasos realizados en la pericia informática Caso 1

Fuente: Elaboración en base al desarrollo del Caso 1

- 1) Proceder a retirar mediante cadena de custodia, de las Bodegas de la Policía Judicial o Centros de Acopio correspondientes, los elementos que la autoridad competente delega y disponga para que sean sometidos a pericia.
- 2) Fijar fotográficamente, cómo se recibe el elemento que se someterá a pericia, detallando el envoltorio, puertos y estado de conservación, todo esto referenciado con un testigo métrico.
- 3) Utilizar el hardware de protección contra escritura y conectarlo, luego con FTK Imager se procede a realizar la imagen forense.

- 4) La imagen forense debe realizarse en un medio idóneo, a fin de efectuar todos los trabajos de campo y técnicos requeridos sobre la imagen obtenida, nunca sobre el dispositivo original.
- 5) Al realizar el proceso de generación de la imagen forense se debe verificar el estado funcional del elemento informático analizado, este procedimiento establece si el disco duro al momento de la pericia se encontraba funcionalmente operativo. En todo caso, si el medio magnético tuviera algún daño o desperfecto de índole físico, electrónico o lógico que impide la realización de la imagen, se deberá registrar la novedad e indicar el tipo de daño que presenta el medio magnético en el informe.
- 6) Conjuntamente con la imagen forense creada por la herramienta FTK Imager, se generan dos ficheros que poseen el mismo nombre asignado al archivo de la imagen resultante, uno con extensión .csv y otro con extensión .txt, el primero contiene siete columnas, con los siguientes encabezados: Filename (nombre del fichero), Full Path (ruta completa de la ubicación del fichero), Size (en bytes), Create (fecha), Modified (fecha), Accessed (fecha) e Is Delete (si/no), en las cuales se listan todos los ficheros contenidos en el disco duro origen.
- 7) El fichero .txt, es el log con el registro completo del proceso de creación de la imagen forense y el que se utiliza como medio de validación de la imagen, ya que en él se encuentran datos como fecha de inicio, fecha de término, hash MD5 y SHA1 del contenido total del disco duro preservado, una vez obtenido el fichero .txt con su contenido se puede validar la imagen forense adquirida.

Con la conclusión de estos pasos se puede dar como completado el proceso estandarizado de adquisición y preservación de un disco duro, que debe ser aplicado a fin de garantizar la integridad de la evidencia digital y precautelar el cumplimiento de los principios de cadena de custodia que rigen en todos los elementos de índole informático ingresados como evidencia. Este mismo procedimiento puede ser aplicado a cualquier tipo de medio magnético de almacenamiento, esto es: discos duros internos o externos, memorias USB, memorias SD y microSD.

4.2 Caso 2

Adquisición y preservación de cuentas de correo electrónicos y cuentas de redes sociales.

4.2.1 Descripción

Se expone a continuación dos casos reales, el primero trata de una persona que por acudir a revisar sus cuentas de correos electrónicos (dos cuentas de correo electrónico, una en Hotmail y otra en Yahoo) en cybers con el fin de mantener segura su correspondencia electrónica porque pensaba que la conexión de internet de su domicilio se encontraba intervenida, termina perdiendo el acceso a una de las cuentas (la de Hotmail) por cuanto había sido cambiada su clave de acceso y le era imposible acceder a la misma. La labor pericial se centra en constatar si es posible tener acceso a la cuenta de correo electrónico de Hotmail, con el usuario y contraseña del titular de la misma. El segundo caso estudia las publicaciones de mensajes en un muro de la red social (Facebook), a fin de determinar si la persona denunciada es la titular de la cuenta de Facebook que hizo varias publicaciones.

4.2.2 Proceso

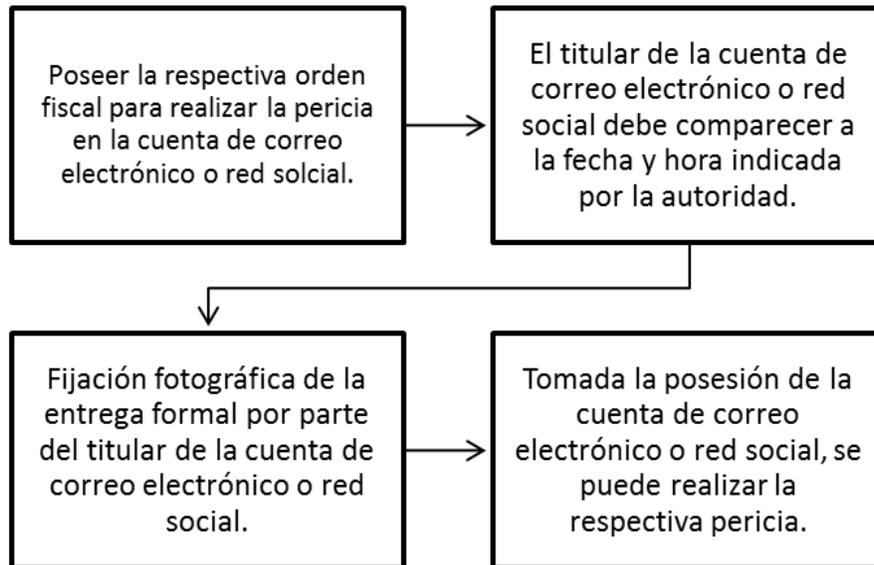


Figura 3. Diagrama de pasos realizados en la pericia informática Caso 2

Fuente: Elaboración en base al desarrollo del Caso 2

Para el efecto de realizar este tipo de adquisiciones, a fin de preservar la información obrante en una cuenta de correo electrónico o cuenta de red social, hay que tener presente aspectos muy importantes, para no violar los derechos fundamentales de las personas, existe una clara norma a respetar y que muchas veces fallan los peritos civiles; y es, en el acceso consentido expreso y la entrega libre y voluntaria del nombre de usuario y contraseña, por parte del titular de la cuenta de correo electrónico o red social al perito designado por la autoridad competente. Para el cumplimiento de lo antes dicho, se deben realizar los siguientes pasos:

- 1) Tener la respectiva orden fiscal para realizar la pericia en torno a la adquisición de la información obrante en un correo electrónico, en el cual se detalle textualmente la cuenta a ser intervenida, así como la delimitación correcta del objeto de pericia, esto es, el mensaje o mensajes específicos que el perito

debe adquirir, preservar y materializar de toda la información que obra dentro de dicha cuenta de correo.

- 2) Proceder a Oficiar a la autoridad competente a fin de que el titular de la cuenta de correo electrónico o red social, comparezca con fecha y hora, hasta las instalaciones u oficina que el perito señale, a fin de que conjuntamente con el titular de la cuenta el perito acceda a dicha información, desde un equipo con conexión a internet que el experto debe tener para dicha labor.
- 3) Como todo actuar pericial se debe realizar la respectiva fijación fotográfica, una vez que el titular de la cuenta concorra para la realización de la diligencia, dejando por escrito la entrega formal por parte del titular de la cuenta de correo electrónico o red social de la entrega libre y voluntaria del usuario y contraseña, ya que el perito debe tomar posesión de dicha cuenta de correo o red social, mientras dure la diligencia (pueden ser horas, días o semanas) y asegurarse de la no intrusión de terceras personas que puedan alterar la evidencia ya que se encuentra a cargo del perito (se realizan cambios en las seguridades de la cuenta de correo por parte del perito).
- 4) Una vez tomada la posesión de la cuenta de correo electrónico o red social, se puede realizar la fijación respectiva y preservación mediante tomas de captura de pantallas, de la información de interés pericial, para su posterior materialización en el informe.

Así como es de suma importancia el procedimiento para la adquisición de la cuenta de correo o red social, mucho más es la devolución del mismo, una vez terminado el procedimiento pericial es importante la devolución de la cuenta a su titular dejando constancia de su recepción satisfactoria, restableciendo sus configuraciones de seguridad anteriores en lo posible o que el titular en presencia del perito ponga nuevos parámetros de seguridad, siempre buscando que la persona tenga una total aceptación y conformidad en la devolución.

4.3 Caso 3

Adquisición y fijación dentro de una pericia que involucra bases de datos.

4.3.1 Descripción

En este caso se tiene el ingreso y modificación de datos no autorizados por parte del operador de un aplicativo que alimenta una base de datos del Ministerio de Agricultura, en el cual se pretendía favorecer a un productor bananero, ingresando datos falsos en cuanto a la real ubicación de las tierras de cultivo de una finca, a fin de que esta obtenga beneficios relacionados a su legalidad e insumos de agricultura.

4.3.2 Proceso

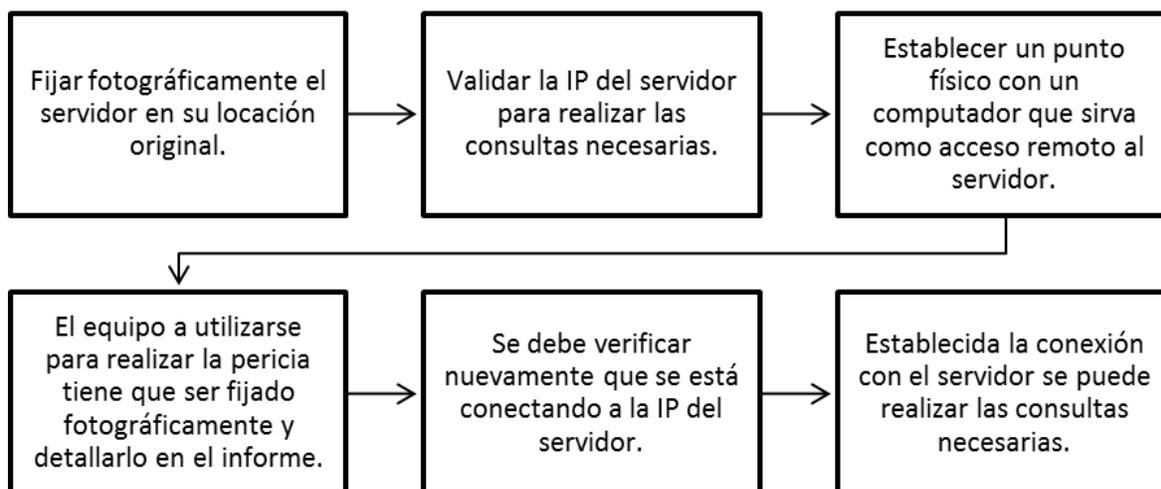


Figura 4.

Diagrama de pasos realizados en la pericia informática Caso 3

Fuente: Elaboración en base al desarrollo del Caso 3

En este tipo de circunstancias, primero se debe entender el entorno legal y las limitaciones en cuanto a la incautación de equipos se refiere en torno a estos

casos, por cuanto al tratarse casi siempre de empresas que manejan un volumen muy elevado de transacciones en sus servidores y que dependen de ellas para su normal desenvolvimiento o instituciones públicas que brindan servicios que no pueden dejar de brindar a la ciudadanía, es poco práctico incautar el disco o discos duros del servidor o servidores a fin de obtener las respectivas imágenes forenses y realizar el análisis en el laboratorio, por lo que es necesario hacer las consultas mientras el aplicativo se encuentra en ejecución. Por tal motivo la colaboración del administrador de base de datos y la facilidad de acceso a toda la información son indispensables en este tipo de casos. Los pasos necesarios para realizar una pericia en este tipo de caso son:

- 1) A fin de empezar el trabajo de campo, en estos casos se recomienda como primer paso, fijar fotográficamente el servidor, en su locación original.
- 2) Posterior a esto, es necesario validar la IP del servidor, al cual se conectará desde un acceso remoto, para realizar las consultas pertinentes.
- 3) Una vez hecho esto, se tiene que establecer un punto físico con un computador, que sirva como acceso remoto al servidor.
- 4) Dicho equipo a utilizarse para realizar la pericia también tiene que ser fijado fotográficamente y detallar en el informe su modelo y serie.
- 5) Una vez establecido el acceso remoto, se debe verificar que se está conectando a la IP del servidor.
- 6) Establecidos los pasos anteriores se puede realizar las consultas necesarias, las cuales serán fijadas mediante capturas de pantallas y materializadas en el informe a presentar.

5. ANÁLISIS DE CASOS

Cumplimiento e incumplimiento con el COIP.

5.1 Caso 1

Como se puede observar en la Tabla 2 cada proceso realizado en la pericia (pasos en el desarrollo del caso) esta llevado a cabo bajo los artículos del COIP que engloban el ámbito informático al momento de realizar un peritaje. En la columna de observación se puede ver información adicional que se debe tener en cuenta cuando se lleva a cabo el proceso en mención con el fin de no violar o faltar algún artículo de la legislación informática y esto a su vez pueda invalidar la información extraída que se pretenda presentar en el informe. En la segunda columna (procesos en la pericia) se evidencia que los pasos están alineados con el artículo que éste utiliza en el proceso, en este caso la mayor utilización de artículos están en los pasos 2,3 y 4 cuyos grupos de artículos se enfocan en: finalidad, principio, medios de prueba, contenido digital y reglas generales, es importante indicar que los pasos anteriormente mencionados están enfocados a la adquisición y preservación de la información en un disco duro de una laptop.

5.2 Caso 2

En la Tabla 3 se visualiza que el mayor número de procesos que se repiten son 2,3 y 4 cuyos grupos de artículos se enfocan en: calumnia, alteración de identidad, información pública reservada, acceso no consentido a un sistema informático, finalidad, retención de correspondencia, intersección de datos, medias de pruebas y contenido digital, en este proceso se hace más énfasis a estos artículos debido a que pertenece a una pericia realizada en una cuenta de correo electrónico y de redes sociales en la cual se debe contar con la

aprobación del afectado de forma escrita para poder realizar la pericia de forma que se cumplan estos artículos.

5.3 Caso 3

La Tabla 4 muestra que el mayor número de pasos que cubren más artículos son 2,5 y 6 debido a que estos enmarcan: revelación ilegal de base de datos, intercesión ilegal de datos, transferencia electrónica de activo patrimonial, ataque a la integridad de sistemas informáticos, delitos contra la información pública reservada legalmente, acceso no consentido a un sistema informático, finalidad, medios de prueba, contenido digital, apropiación fraudulenta por medios electrónicos. Además es importante indicar que este caso se desarrolló en base a una pericia informática realizada a un motor de base de datos del Ministerio de Agricultura del Ecuador que fue intervenida y modificada de forma ilícita.

Artículo	Procesos en la pericia (aplicación y cumplimiento)	Observación	Procesos de computación forense
178 Violación a la intimidad 179 Revelación de secreto 180 Difusión de información restringida	1 y 2		Preservación Identificación
182 Calumnia	1	Se debe contar con los permisos necesarios por parte de la autoridad.	Preservación Identificación

453 Finalidad 454 Principios	2, 3 y 4	En el artículo 454 los literales 5 y 6 rigen la validez de la prueba.	Extracción
498 Medios de prueba	2, 3, 4 y 5	Se debe tener en claro los únicos medios válidos para presentar alguna evidencia como prueba.	Documentación
499 Reglas generales 500 Contenido digital	3, 4, 5, 6, 7	El artículo 500 los literales 1, 2, 3 y 4 detallan la forma correcta para materializar la evidencia obtenida.	Documentación
511 Reglas generales	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	La persona asignada para realizar la pericia debe cumplir con los literales del 1 al 9.	Interpretación

Tabla 2.

Cumplimiento del código penal en los procesos forenses del Caso 1.

Fuente: Elaboración propia en base a Código Orgánico Integral Penal del Ecuador (COIP).

Articulo	Procesos en la pericia (aplicación y cumplimiento)	Observación	Procesos de computación forense
178 Violación a la intimidad 179 Revelación de secreto 180 Difusión de información	1 y 2		Preservación Identificación

restringida			
182 Calumnia	1, 2, 4	Se debe contar con los permisos necesarios por parte de la autoridad.	Preservación Identificación
221 Supresión, alteración o suposición de la identidad y estado civil	2 y 3	Se debe entregar las cuentas (correo o red social) tal y cual estaban antes de la intervención del perito.	Extracción
233 Delitos contra la información pública reservada legalmente 234 Acceso no consentido a un sistema informático, telemático o de telecomunicaciones	2 y 3	El artículo 234 es vital al momento de materializar la información obtenida.	Extracción
453 Finalidad 454 Principios literales	3 y 4	En el artículo 454 los literales 5 y 6 rigen la validez de la prueba.	Documentación
475 Retención de correspondencia 476 Interceptación de las comunicaciones o datos informáticos 477 Reconocimiento de grabaciones	2 y 3	Se aplica en este caso ya que las cuentas han sido intervenidas (afectación).	Documentación
498 Medios de prueba	4	Se debe tener en claro los únicos medios	Interpretación

		válidos para presentar alguna evidencia como prueba.	
499 Reglas generales 500 Contenido digital	4	El artículo 500 los literales 1, 2, 3 y 4 detallan la forma correcta para materializar la evidencia obtenida.	Interpretación
511 Reglas generales	1, 2, 3, 4	La persona asignada para realizar la pericia debe cumplir con los literales del 1 al 9.	Interpretación

Tabla 3.

Cumplimiento del código penal en los procesos forenses del Caso 2.

Fuente: Elaboración propia en base a Código Orgánico Integral Penal del Ecuador (COIP).

Artículo	Procesos en la pericia (aplicación y cumplimiento)	Observación	Procesos de computación forense
178 Violación a la intimidad 179 Revelación de secreto 180 Difusión de información restringida	1		Preservación Identificación

182 Calumnia	2, 3, 5	Se debe contar con los permisos necesarios por parte de la autoridad.	Preservación Identificación
190 Apropiación fraudulenta por medios electrónicos	2 y 3	Validar que es el servidor correcto al que se le realiza la pericia.	Extracción
229 Revelación ilegal de base de datos 230 Interceptación ilegal de datos 231 Transferencia electrónica de activo patrimonial 232 Ataque a la integridad de sistemas informáticos 233 Delitos contra la información pública reservada legalmente 234 Acceso no consentido a un sistema informático, telemático o de telecomunicaciones	5	Cuando se lleva a cabo la pericia en los servidores se debe tener en cuenta estos artículos, para no tener inconvenientes al momento de realizar los procedimientos pertinentes.	Extracción
453 Finalidad 454 Principios	6	En el artículo 454 los literales 5 y 6 rigen la validez de la prueba.	Documentación
498 Medios de prueba	2, 5 y 6	Se debe tener en claro los únicos medios válidos para presentar alguna evidencia como prueba.	Documentación

499 Reglas generales 500 Contenido digital	2, 5 y 6	El artículo 500 los literales 1, 2, 3 y 4 detallan la forma correcta para materializar la evidencia obtenida.	Interpretación
511 Reglas generales	1, 2, 3, 4, 5, 6	La persona asignada para realizar la pericia debe cumplir con los literales del 1 al 9.	Interpretación

Tabla 4.

Cumplimiento del código penal en los procesos forenses del Caso 3.

Fuente: Elaboración propia en base a Código Orgánico Integral Penal del Ecuador (COIP).

Finalmente, realizado el análisis de los tres casos la Figura 5 muestra que el mayor número de artículos utilizados son relacionados en el caso de base de datos que representa el 75% de uso de los mismos, en cuanto al caso de redes sociales se obtiene un 58% de utilización y por último para discos duros se observa un 29% de uso.

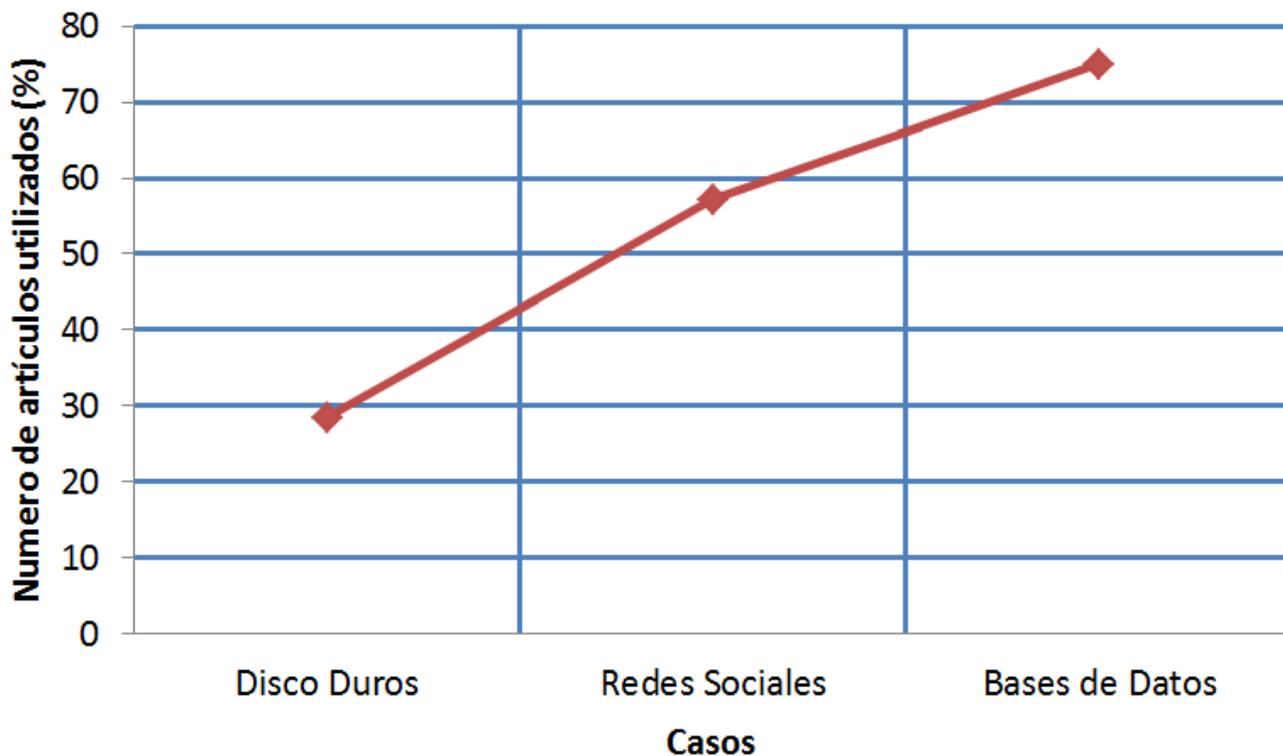


Figura 5.

Gráfico del número de artículos utilizados en los casos desarrollados.

Fuente: Elaboración propia en base al análisis de los datos.

6. CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

El Ecuador cuenta con un Código Orgánico Integral Penal (COIP) renovado que tiene vigencia desde el año 2014 en donde se actualizaron los artículos para penalizar los delitos informáticos existentes, se observa en el desarrollado de los tres casos expuestos en este paper que existen una serie de hechos tales como: los artículos resguardan en su totalidad los procesos empleados para efectuar una pericia informática, los equipos usados para realizar una adquisición y preservación de la información están normados bajo algún

artículo. Una vez realizada la investigación se puede determinar que la ley contempla una mayor cantidad de artículos relacionados a las bases de datos tal como se puede evidenciar en la Figura 5 de la sección de análisis de datos. Esto conlleva a que los casos de delito informático que tengan algún tipo de relación con los motores de base de datos serán sancionados no dando cabida a algún vacío legal.

Existen algunas limitaciones en este estudio, el periodo de tiempo empleado en la investigación y la cantidad de casos estudiados (3), teniendo como única fuente los archivos del Departamento de Criminalística del Guayas. Se incluyeron sólo tres casos debido al alto nivel de dificultad que existe en el acceso de los casos sentenciados por parte de las autoridades y establecimientos encargados. Es por ello que se hace un llamado a las autoridades pertinentes para que faciliten la información para fines académicos.

Por ser un estudio exploratorio no se puede ser concluyente con los resultados, sin embargo este análisis muestra un panorama empírico de esta temática en el Ecuador que puede servir como referente para un estudio descriptivo o inferencial. Cabe mencionar que es posible desarrollar varios temas que podrían ser utilizados para futuras investigaciones en base a este artículo. El estudio de otros tipos de evidencia digital tales como: documentos de ofimática, imágenes digitales, ficheros de registros de actividad, memoria volátil, entre otros y su relación con el COIP. Además el rango de años y la fuente de información de los casos podrían ampliarse y así evidenciar si la cobertura de artículos es la misma que contempla este paper. Finalmente, se puede categorizar los casos por provincias para brindar un mejor análisis descriptivo general de la pericia informática en el país.

Referencias

Accorsi, R. (2009, 07 24). IEEE. Retrieved 11 06, 2014, from Log Data as Digital Evidence: What Secure Logging Protocols Have to Offer?: www.ieee.org

Blum, J. (2010). Juez Nacional del Ecuador, Abodago. Guayaquil: Corte Nacional de Justicia.

Bojanc, R., & Blažic, B. (2008, 02 15). IEEE. Retrieved 11 08, 2014, from Standard Approach for Quantification of the ICT Security Investment for Cybercrime Prevention: www.ieee.org

Caloyannide, M., & Grumman, N. (04 de 2009). IEEE. Recuperado el 04 de 12 de 2014, de Forensics Is So "Yesterday": www.ieee.org

Carroll, O., Brannon, S., & Song, T. (2008, 01). The United States Department of Justice. Retrieved 10 01, 2014, from Computer Forensics: Digital Forensic: http://www.justice.gov/usao/eousa/foia_reading_room/usab5601.pdf

Casey, E. (2004, 12). Elsevier. Retrieved 10 01, 2014, from Digital Evidence and Computer Crime, Second Edition: http://books.google.co.uk/books?id=Xo8GMt_AbQsC&hl=en&dq=Digital%20Evidence%20and%20Computer%20Crime,%20Second%20Edition&ei=it1XTMncCMm44gbC_qyFBw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CDQQ6AEwAA

Colombia. (05 de 01 de 2009). Secretaría General de Bogotá. Recuperado el 14 de 03 de 2015, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=34492>

Creutzburg, R., & Luttenberger, S. (2011). Forensic investigation of certain types of mobile devices. Retrieved 09 30, 2014, from <file:///C:/Users/Cristopher/Downloads/Forensic%20investigation%20of%20certain%20types%20of%20mobile%20devices.pdf>

Dick C.A., B. (2004, 10). IEEE Multimedia. Retrieved 10 01, 2014, from Is It Time for a Moratorium on Metadata?: <http://homepages.cwi.nl/~dcab/PDF/ieeeMM2004.pdf>

Ecuador. (02 de 10 de 2014). Asamblea Nacional del Ecuador. Recuperado el 15 de 03 de 2015, de <http://www.asambleanacional.gob.ec/>: <http://www.asambleanacional.gob.ec/es/leyes-aprobadas>

Ferruzola, E. (12 de 02 de 2014). Perito Informatico. (C. Gomez, Entrevistador)

Hua, Y., Zhu, Y., Jiang, H., Feng, D., & Tian, L. (2011, 04). IEEE. Retrieved 11 07, 2014, from Supporting Scalable and Adaptive Metadata Management in Ultralarge-Scale File Systems: www.ieee.org

Instituto Nacional de Ciberseguridad. (18 de 06 de 2014). Instituto Nacional de Ciberseguridad. Recuperado el 13 de 02 de 2015, de Gobierno de España: https://www.incibe.es/blogs/post/Seguridad/BlogSeguridad/Articulo_y_comentarios/rfc3227

Iqbal, B., Iqbal, A., Guimaraes, M., Khan, K., & Obaidli, H. (2012, 10 12). IEEE. Retrieved 11 07, 2014, from Amazon Kindle Fire from a Digital Forensics Perspective: www.ieee.org

Ke, H.-J., Liu, J., Wang, S.-J., & Goyal, D. (2011, 10 28). IEEE. Retrieved 11 06, 2014, from Hash-Algorithms Output for Digital Evidence in Computer Forensics: www.ieee.org

Kosch, H., Boszormeny, L., Dollers, M., Schojer, P., Kofler, A., & Libsie, M. (2005, 01). IEEE MultiMedia. Retrieved 10 01, 2014, from The life cycle of multimedia metadata:
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&arnumber=1377106&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1377106

Kuntze, N., & Rudolph, C. (2011, 05 26). IEEE. Retrieved 11 06, 2014, from Secure Digital Chains of Evidence: www.ieee.org

Lee, K., Lee, C., Park, N., Kim, S., & Won, D. (2011, 05 25). IEEE. Retrieved 11 06, 2014, from An Analysis of Multi-function Peripheral with a Digital Forensics Perspective: www.ieee.org

Lin, I.-L., Chao, H.-C., & Peng, S.-H. (2011, 10 28). IEEE. Retrieved 11 06, 2014, from Research of Digital Evidence Forensics Standard Operating Procedure with Comparison and Analysis Based on Smart Phone: www.ieee.org

López, F. (20 de 02 de 2014). Perito Informatico. (C. Gómez, Entrevistador)

Malek, M. (04 de 2008). IEEE. Recuperado el 28 de 11 de 2014, de An overview of IT Security Forensics: www.ieee.org

Ojeda, W. (2014, 09 01). Perito Informatico acreditado por Cosejo Judicatura de Ecuador, Cbo. Segundo de Policia. (C. Gomez, Interviewer)

Osborne, G., & Slay, J. (2011, 8 26). IEEE. Retrieved 11 6, 2014, from Digital Forensics Infovis: An Implementation of a Process for Visualisation of Digital Evidence: www.ieee.org

Sánchez, P. (10 de 09 de 2013). Conexion Inversa. Recuperado el 14 de 03 de 2015, de Security & Pure Forensics: <http://conexioninversa.blogspot.com/2013/09/forensics-powertools-listado-de.html>

Steinacker, A., Ghavam, A., & Steinmetz, R. (2001, 03). IEEE Multimedia. Retrieved 10 01, 2014, from Metadata Standards for: <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~garcia/cursos/TEICOPIN/metadataWE.pdf>

Torres, D., Rueda, S., & Cano, J. (2004). Avances en criptología y seguridad de la información. Recuperado el 26 de 06 de 2015, de https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=ibSu6896l_YC&oi=fnd&pg=PR7&dq=mecanismos+de+seguridad+de+la+informacion&ots=-GTHhqPn_T&sig=zr_zyoAQJaHzSacYasNOFc_UXb4#v=onepage&q=mecanismos%20de%20seguridad%20de%20la%20informacion&f=false

Ureta, L. (13 de 02 de 2015). Perito Infromatico. (C. Gomez, Entrevistador)

US-CERT. (2008). United States Computer Emergency Readiness. Retrieved 09 30, 2014, from <https://www.us-cert.gov/>

Vizueta, J. (2011). Delitos Informaticos en el Ecuador. Guayaquil: EDINO.

Warren, K., & Heiser, J. (2002). Addison-Wesley. Retrieved 10 01, 2014, from Computer Forensics: Incident Response Essentials: http://books.google.com.ec/books?id=nNpQAAAAMAAJ&redir_esc=y

Wroe, C., Goble, C., Greenwood, M., Lord, P., Miles, S., Papay, J., y otros. (02 de 2004). IEEE Intelligent Systems. Recuperado el 01 de 10 de 2014, de Automating Experiments Using Semantic Data on a Bioinformatics Grid: http://homepages.cs.ncl.ac.uk/phillip.lord/download/publications/seven_kinds.pdf

Yasinsac, A., Erbacher, R., Marks, D., & Pollitt, M. (2003, 08). IEEE Security & Privacy. Retrieved 10 01, 2014, from Computer forensics education: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&arnumber=1219052&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F8013%2F27399%2F01219052>

Yen, Y.-S., Lin, I.-L., & Chang, A. (2011, 07 2). IEEE. Retrieved 11 08, 2014, from A Study on Digital Forensics Standard Operation Procedure for Wireless Cybercrime: www.ieee.org

AccessData. (2014). Recuperado el 17 de 10 de 2014, de <http://accessdata.com/solutions/digital-forensics/forensic-toolkit-fft>

Acurio, S. (2010). OEA - Organización de los Estados Americanos. Recuperado el 12 de 02 de 2015, de http://www.oas.org/juridico/spanish/cyb_ecu_plan_operativo.pdf

Blum, J. (2010). Juez Nacional del Ecuador, Abogado. Guayaquil: Corte Nacional de Justicia.

Colombia. (05 de 01 de 2009). Secretaría General de Bogotá. Recuperado el 14 de 03 de 2015, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=34492>

Ecuador. (02 de 10 de 2014). Asamblea Nacional del Ecuador. Recuperado el 15 de 03 de 2015, de <http://www.asambleanacional.gob.ec/>: <http://www.asambleanacional.gob.ec/es/leyes-aprobadas>

López, F. (20 de 02 de 2014). Perito Informático. (C. Gómez, Entrevistador)

Sánchez, P. (10 de 09 de 2013). Conexión Inversa. Recuperado el 14 de 03 de 2015, de Security & Pure Forensics: <http://conexioninversa.blogspot.com/2013/09/forensics-powertools-listado-de.html>

Ureta, L. (13 de 02 de 2015). Perito Informático. (C. Gómez, Entrevistador)

Notas biográficas:

Francisco Bolaños. Es Ingeniero en Computación Especialización Sistemas de Información, tiene una Maestría en Seguridad Informática Aplicada. Es director de la Maestría en Auditoría de Tecnologías de la Información en la Universidad Espíritu Santo. Su línea de investigación es la criptografía aplicada con énfasis en sidechannelattacks.

Cristopher Gómez. Es Ingeniero en Sistemas con mención en Desarrollo. Fue Integrante del departamento de Servicio de Ingeniería de Alcatel-Lucent en Ecuador. A partir mayo de 2015 se desempeña como Analista de Tecnologías de la Información y Comunicaciones en el departamento de seguridad y base de datos de la Comisión de Transito del Ecuador. Sus líneas de investigación: Seguridad Informática y Computación Forense.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Una Revisión Sistemática en los Marcos de Trabajo de Desarrollo Software en las MiPyMEs Productoras de Software

Antonio A. Aguilera

Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán.

aaguilet@correo.uady.mx

Grisel B. Ancona

Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán.

griz.ancona@gmail.com

Edwin J. León

Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán.

eleon@correo.uady.mx

Juan P. Ucán

Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán.

juan.ucan@uady.mx

Resumen: Una revisión sistemática es considerada como un método o protocolo que permite sintetizar investigaciones científicas de diversas áreas, la Ingeniería de Software no es la excepción. En este artículo se presenta este protocolo aplicado en la búsqueda de publicaciones relacionadas con las adaptaciones a los marcos de trabajo de desarrollo de software llevadas a cabo en MiPyMEs desarrolladoras de software, en el período comprendido de 1995 al 2013, centrándose en tendencias, países y sectores que publican; así como en los modelos, metodologías, estándares, procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reúso del software. Los resultados obtenidos muestran que los países con mayor número de publicaciones sobre el tópico seleccionado son Estados Unidos y Reino Unido, que en su conjunto suman 21%; y que otros países suman el 79% restante. Se observa que el sector con mayor número de publicaciones es el sector educativo con 76%, seguido por los centros de investigación con 18% y el sector privado con el 6%. El modelo de procesos y la metodología más utilizados son CMMi con 33% e IDEAL con 22%, respectivamente. Los estándares más utilizados, con el 18% cada uno, son el ISO/IEC 15504 y CORBA; y los procesos del ciclo de vida del software mayormente abordados son: análisis de requisitos del sistema con un 33% y construcción con un 29%.

Palabras Clave: MiPyME, revisión sistemática, modelos, metodologías, estándares de desarrollo de software, procesos técnicos, procesos de implementación, procesos de reúso del software.

A Systematic Review in Software Development Frameworks for MSMEs of Software

Abstract: A systematic review is considered a protocol applied in several scientific areas, and the application in Software Engineering is not the exception. This article presents the applied and adapted protocol in searches related to software development frameworks for MSMEs of software; the data cover the period from 1995 to 2013, focusing on trends, countries and

publishing sectors; as well as models, methodologies, standards, technical processes, implementation processes and software reuse processes. Results for countries publishing on the selected topic are as follows: United States and United Kingdom show the highest number of publications together, 21%, while other countries keep the rest 79%. The greatest number of publications is presented in the education sector with 76%, followed by research centers 18%, and the private sector with 6%. The most used process model and methodology are the CMMI and the IDEAL with 33% and 22%, respectively. The most widely used standards, with 18% each, are the ISO/IEC 15504 and CORBA; and the most addressed software life cycle process are the analysis of system requirements with 33% and the construction with 29% respectively.

Keywords: MSMEs, systematic review, models, methodologies, software development standards, technical processes, implementation processes, software reuse processes.

1. Introducción

En la actualidad se han desarrollado modelos, estándares y metodologías como CMMi (CMMI Product Team, 2010), IDEAL (McFeeley, 1996), ISO/IEC 15504 (International Standard Organization, 2004) y CORBA (Mowbray y Zahavi, 1995) que ayudan a las grandes organizaciones a mejorar sus procesos de desarrollo y productos de software. El establecimiento de estos modelos y metodologías, dado los problemas que presentan las MiPyMEs, debiera realizarse de un modo particular y visiblemente diferente a como se hace en organizaciones de mayor tamaño; debido a que no es tan sencillo como el hecho de considerar los programas de mejora como versiones a escala de las grandes compañías (Richardson, 2001), por lo que las MiPyMEs desarrolladoras de software requieren prácticas eficientes de Ingeniería de

Software adaptadas a su tamaño y tipo de negocio (Fayad, Laitinen, y Ward, 2000).

En este artículo se presenta una revisión sistemática de la literatura acerca del tópico: adaptaciones en los marcos de trabajo de desarrollo de software en las MiPyMEs, en el período comprendido de 1995 al 2013, no obstante el análisis de los datos se realizó durante el 2014. El propósito de este trabajo es presentar información actualizada sobre las tendencias de este tópico como son: países y sectores que abordan el tema, así como modelos, metodologías, estándares, procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reúso del software, reportados en este tipo de empresas; debido a la diversidad de modelos, metodologías y estándares, se realizó una estrategia adicional para identificar a sus autores, los cuales son reportados en éste artículo. Esta revisión sistemática se centra en aportaciones reportadas sobre procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reúso, del ciclo de vida del software. Otras revisiones similares, como las realizadas por: Gómez, Aguilera, Ancona, y Gómez (2014) se enfoca en aportaciones reportadas sobre procesos de soporte del área de calidad del ciclo de vida del software; Pino, García, y Piattini (2006) que se enfoca en las aportaciones que se han realizado en los procesos del ciclo de vida del software; Dybå y Dingsøyr (2008) que se enfoca en los beneficios y limitaciones de las metodologías ágiles; Wangenheim, Rossa, y Salviano (2010) orientada a la revisión de modelos de capacidad y madurez del proceso de software; o Duron, Muñoz, y Mejía (2013) enfocada en conocer cómo se realiza la implementación de la mejora de procesos software.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: La sección 2 presenta la metodología. En la sección 3 se describe la aplicación del protocolo de revisiones sistemáticas, al dominio seleccionado. En la sección 4 se describe la extracción de la información. La sección 5 presenta el resumen de resultados. Finalmente la sección 6 muestra las conclusiones de este trabajo.

2. Metodología

El término “Revisión Sistemática” (RS) es usado para referirse a una metodología específica de investigación, desarrollada para obtener y evaluar la evidencia disponible perteneciente a un tema específico (Kitchenham et al., 2001). RS es el proceso de resumir información existente sobre un fenómeno de forma minuciosa y empírica. Al final, la RS obtiene como resultado una conclusión general sobre los estudios individuales del fenómeno en cuestión. En este apartado se describe de manera general, en 3 pasos, el proceso de la revisión sistemática para el área de Ingeniería de Software, propuesto por Biolchini, Gomes, Cruz, y Orta (2005).

Paso 1. Desarrollo del protocolo (fase rigurosa e iterativa): cubre el plan general para la revisión sistemática de la literatura.

Identificación y selección de fuentes: sección cuyo objetivo es identificar y seleccionar las fuentes donde se llevará a cabo la búsqueda de los estudios primarios. Se compone de los siguientes apartados: definición de los criterios de la selección de fuentes, idioma de los estudios, identificación de fuentes, selección de fuentes después de la evaluación, verificación de las fuentes.

Selección de estudios: sección que tiene por objetivo identificar los estudios primarios y secundarios. Los estudios se seleccionan después de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión.

Paso 2. Extracción de información: fase en la que se ejecuta la búsqueda de estudios en las fuentes definidas; los estudios encontrados se evalúan con los criterios definidos.

Definición de los criterios de inclusión de información (CInf) y exclusión de información (CEinf): que tiene por objetivo definir los criterios con que será evaluada la información.

Plantillas para la extracción de información: sección que tiene por objetivo registrar los estudios primarios derivados del proceso de selección.

Ejecución de la extracción: sección en la que se realiza la evaluación de los estudios mediante los criterios definidos.

Paso 3. Resumen de resultados: fase en la que se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de la fase de desarrollo del protocolo de RS y la fase de extracción de información.

Tendencia de los estudios: sección que muestra cómo han evolucionado los estudios primarios a lo largo del tiempo.

Clasificación: sección que muestra los resultados encontrados en los estudios primarios al aplicar los criterios de inclusión y exclusión de la información.

1. Desarrollo del protocolo

En esta sección se describen los pasos realizados para el desarrollo del protocolo para revisiones sistemáticas.

Formulación de la pregunta:

Enfoque de la pregunta: esta RS se lleva a cabo para identificar iniciativas o informes de experiencias en modelos, metodologías, estándares, procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reuso del software en las

MiPyMEs, así como para dar a conocer las tendencias, países, y sectores con mayor número de publicaciones en este ámbito.

Amplitud y calidad de la Pregunta: esta sección ayuda a definir la sintaxis de la pregunta de investigación, el contexto en el cual se aplica la revisión y la pregunta de investigación a ser contestada, así como sus especificaciones semánticas (o rango de la pregunta).

Problema: un marco de trabajo establece la base para un proceso de software completo al identificar un número pequeño de actividades del marco de trabajo aplicables a todos los proyectos de software, sin importar su tamaño o complejidad (Pressman, 2006). Los procesos técnicos son utilizados para definir los requisitos de un sistema, transformar los requisitos en un producto efectivo, permitir una reproducción consistente del producto donde sea necesario, usar el producto, proveer el servicio requerido, sostener la prestación de los servicios y disponer del producto cuando es retirado del servicio. Los procesos de implementación del software son utilizados para producir un elemento (unidades de software) del sistema implementado en el software. Esos procesos transforman el comportamiento específico, las interfaces y las restricciones de implementación en acciones de implementación, dando como resultado un elemento del sistema que satisface los requisitos derivados de los requisitos del sistema. Los procesos de reuso del software soportan la habilidad de una organización de reusar elementos de software a través de los límites del proyecto. Esos procesos son únicos porque, por naturaleza, operan fuera de los límites de cualquier proyecto particular (ISO/IEC/IEEE, 2008). En la actualidad no existen estudios recientes que muestren las tendencias de las iniciativas del tópico seleccionado, por lo que creemos que es de interés dar a conocer qué países y en qué sectores se llevan a cabo los estudios, así como los modelos, metodologías, estándares, procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reuso del software, utilizados en las MiPyMEs. A continuación se describe la pregunta de

la RS, la intervención, el efecto, los resultados de las mediciones, la población y la aplicación.

Pregunta: ¿Qué modelos, métodos, estándares, procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reuso del software se abordan en las adaptaciones de los marcos de trabajo de desarrollo de software para las MiPyMEs desarrolladoras de software?.

Intervención: marcos de trabajo para desarrollo de software en MiPyMEs desarrolladoras de software.

Efecto: iniciativas que tratan modelos, métodos, estándares, procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reuso del software para MiPyMEs desarrolladoras de software.

Resultados de las mediciones: número de iniciativas identificadas.

Población: publicaciones relacionadas con modelos, métodos, estándares, procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reuso del software en el contexto de las MiPyMEs.

Aplicación: organizaciones que emplean algún marco de trabajo de desarrollo de software en MiPyMEs desarrolladoras de software.

Identificación y selección de fuentes:

El Idioma de los estudios seleccionado es inglés, al ser el idioma universal.

Las fuentes incluyen las bases de datos digitales ACM, CiteeSeerX, IEEE Xplore, Science Direct, Wiley y SEI, las cuales son comúnmente utilizadas para investigaciones en este ámbito de la computación.

Cadenas de búsqueda: palabras reservadas extraídas del conjunto de palabras definidas en la pregunta. Combinando estas palabras clave con los operadores lógicos “AND” y “OR”, se obtuvo la cadena de búsqueda (que se muestra en la Tabla 1). Esta cadena ha sido adaptada a cada buscador de las fuentes de búsqueda.

<p>Palabras clave con operadores lógicos (“software development framework”) AND (small or “medium” or “small and medium” or “SME’s”) AND (settings or organizations or companies or company or “sized software company” or enterprises or “software enterprises”)</p>

Tabla 1. Cadena de Búsqueda

Selección de fuentes después de la evaluación de criterios: Se verificó, si las fuentes se ajustan a los criterios previamente definidos, y se estableció la lista de fuentes, mostrada en la Tabla 2.

Número	Fuentes
1	ACM
2	CiteeSeerX
3	IEEE Xplore
4	Science Direct
5	Wiley
6	SEI

Tabla 2. Fuentes empleadas

Verificación de las fuentes: Tres investigadores del Grupo de Investigación en Tecnologías para la Formación en Ingeniería de Software, de la Facultad de Matemáticas en la Universidad Autónoma de Yucatán evaluaron el listado de fuentes, de acuerdo con los criterios de selección de fuentes, obtenida en la sección previa, donde de forma consensuada aprobaron el listado.

Selección de estudios:

Este apartado describe el proceso y criterios de la selección y evaluación de los estudios.

Definición de estudios: En la definición de criterios de inclusión (CI) de estudios y de exclusión (CE) de estudios, se identificaron 4 y 2, respectivamente, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Criterio	Descripción
CI1	Incluye publicaciones cuyos títulos están relacionados con los marcos de trabajo de desarrollo de software en las MiPyMEs.
CI2	Incluye publicaciones que contengan palabras reservadas que coincidan con las definidas en la cadena de búsqueda.
CI3	Incluye publicaciones cuyo resumen esté relacionado con el tópico seleccionado.
CI4	Incluye publicaciones que han sido leídas parcial o totalmente.
CE1	Excluye publicaciones que no coinciden con los criterios de inclusión previos.
CE2	Excluye todas las publicaciones duplicadas.

Tabla 3. Definición de criterios de inclusión y exclusión de estudios.

Definición de tipos de estudios: se analizaron los estudios relacionados con los marcos de trabajo de desarrollo de software en las MiPyMEs.

Con respecto al procedimiento para seleccionar los estudios, se tomaron como criterios: el título de la publicación, el resumen de cada uno y en su mayoría se requirió revisar el contenido completo.

Ejecución de la selección: En la selección inicial de estudios se realizó la ejecución de las búsquedas, adaptando las cadenas a los motores de cada buscador. La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos.

Fuente	Fecha Búsqueda	Resultados	Estudios Primarios
ACM	01/07/2013	141	13
CiteeSeerX	02/07/2013	36	6
IEEE Xplore	01/07/2013	405	5
Science Direct	16/01/2014	151	4
Wiley	03/07/2013	313	3
SEI	05/07/2013	49	2
Total		1095	33

Tabla 4. Número de estudios y resultados de las búsquedas.

Evaluación de la calidad de los estudios: para determinar la calidad de los estudios, se aplicaron los criterios de inclusión y de exclusión, donde se seleccionaron 33 estudios.

2. Extracción de información

En esta sección se describen los pasos realizados para la extracción de información, en los estudios primarios encontrados. Primero se definieron los criterios de inclusión de información (Clinf) y exclusión de información (CEinf). En segundo lugar se elaboraron plantillas para el registro de los datos extraídos, por último, se ejecutó la extracción de la información aplicando los Clinf, y los CEinf.

Definición de los criterios de inclusión de información (CInf) y exclusión de información (CEInf)

Respecto a este punto, se identificaron cuatro criterios de inclusión de información (CInf) y uno de exclusión (CEInf). La Tabla 5 muestra una descripción de estos criterios.

Criterio	Descripción
CI1inf	Recoger información sobre las tendencias en investigación e implementación respecto a los marcos de trabajo de desarrollo de software en las MiPyMEs.
CI2inf	Recoger información sobre países y sectores que investigan o implementan algún marco de trabajo de desarrollo de software en las MiPyMEs.
CI3inf	Identificar qué modelos, metodologías y estándares abordan los estudios de marcos de trabajo de desarrollo de software en las MiPyMEs.
CI4inf	Identificar qué procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reuso del ciclo de vida del software tratan los estudios.
CE1inf	Excluir la información que no esté relacionada con los criterios de inclusión definidos anteriormente.

Tabla 5. Definición de los criterios de inclusión y exclusión de información.

Plantillas para la Extracción de Información

Para el registro de los datos de identificación del estudio primario, se definieron plantillas que contienen los siguientes campos: identificador (id), año, y título del estudio. Para el registro de los datos a extraer mediante los criterios CInf y los CEInf, se definieron plantillas con los siguientes campos: resumen, país,

institución u organización, metodología, modelo o estándar y proceso del ciclo de vida del software que se aborda. Los datos registrados en estas plantillas se usaron para el apartado de resumen de resultados.

Ejecución de la Extracción

Con una evaluación imparcial de la información de los estudios primarios, los registros obtenidos se colocaron en las plantillas para la extracción de la información. La evaluación se realizó mediante observaciones de las ideas principales, utilizando los criterios de inclusión y exclusión de la información (véase Tabla 5) y se organizó de acuerdo a los criterios de inclusión.

3. Resumen de resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del protocolo de la RS.

Tendencia de los estudios

En el análisis de tendencia de los estudios, se consideró el año del estudio. Como se puede observar en la Figura 1, los estudios muestran una tendencia incremental. Los años donde se tuvieron más estudios sobre el tópico seleccionado fueron 2010 y 2013. Estos resultados sugieren interés del tópico en la comunidad, en aportar al cuerpo de conocimiento de Ingeniería de Software, aspectos relacionados a los marcos de trabajo de desarrollo de software para las MiPyME's. Estos resultados corroboran los resultados publicados por Pino et al. (2006).



Figura 1. Publicaciones del tópico por año.

Clasificación

Los estudios cubren:

Países que han publicado sobre el tópico seleccionado:

En el análisis de los países que publican, se identificó el país del autor principal del estudio. Como se muestra en la Figura 2, el 21 % corresponde a 2 países, que son: Estados Unidos con el 12%, y Reino Unido con el 9%. El 79 % restante corresponde a otros países: África, Alemania, Argentina, Australia, Austria, Canadá, China, Colombia, Corea, España, Finlandia, Grecia, Irlanda, Italia, Kenya, Malasia, México, Portugal, Suecia, Suiza y Tailandia. Estos resultados sugieren que el tópico seleccionado es de interés a nivel mundial, principalmente en países desarrollados y emergentes. Éste interés muy probablemente se deba a la dependencia que hay entre las economías mundiales y las MiPyMEs de este sector, que representan el 99% (Fayad et al., 2000); así como a la existencia de programas de apoyo gubernamentales tales como SEI (Software Engineering Institute en Estados Unidos), SPIRE

(Software Process Improvement in Regions of Europe) (European Commission ESPRIT/ESSI Programme, 1993), MR-MPS Modelo de referencia de procesos (Weber et al., 2004), SIMEP-SW (Sistema Integral para la Mejora de los Procesos Software en Colombia) (Hurtado y Bastarrica, 2005), COMPETISOFT (Mejora de Procesos para Fomentar la Competitividad de la Pequeña y Mediana Industria del Software de Iberoamérica) (COMPETISOFT, 2006), MoProSoft (Modelo de Procesos para la Industria de Software en México) (Oktaba et al., 2003), entre otros.

Países con publicaciones sobre los marcos de trabajo de desarrollo software en la MiPyME

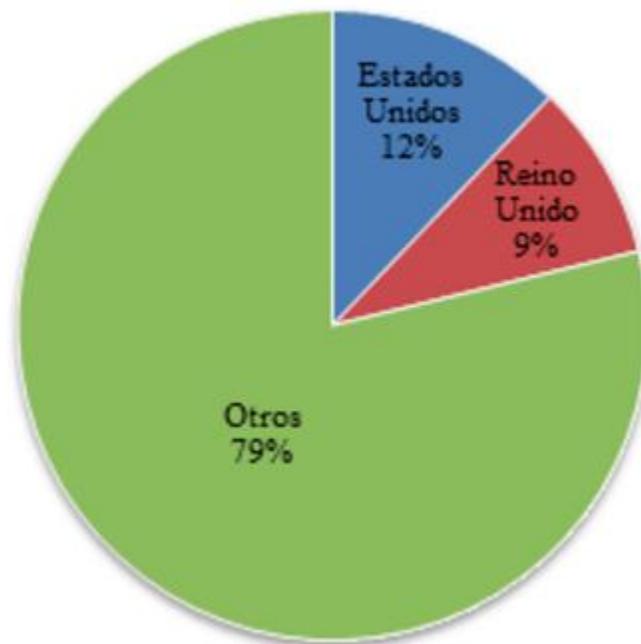


Figura 2. Países con publicaciones sobre el tópico seleccionado.

Resultados por tipos de sectores:

En el análisis del tipo de sectores que publican, se consideró como sector educativo a las organizaciones que se dedican a la educación superior (universidades, academias, escuelas, institutos y facultades). Como centros de

investigación, aquellas organizaciones que se dedican a la generación de conocimiento y su aplicación; y finalmente se consideró como sector privado a aquellas organizaciones que tienen como fin un beneficio económico y que no pertenecen al sector educativo, ni a un centro de investigación. En el caso de los centros de investigación, adscritos a una organización educativa, los estudios se catalogaron como producidos por el centro de investigación. Como se aprecia en la Figura 3, el sector que más publica es el sector educativo con un 76%, seguido del centro de investigación con 18% y finalmente el sector privado con 6%. Estos resultados sugieren que las aportaciones se mantienen en el ámbito conceptual y que es escasa la vinculación con el sector privado, lo que se corrobora de acuerdo con los resultados publicados por Vega, Fernández de Lucio, y Huanca (2007).

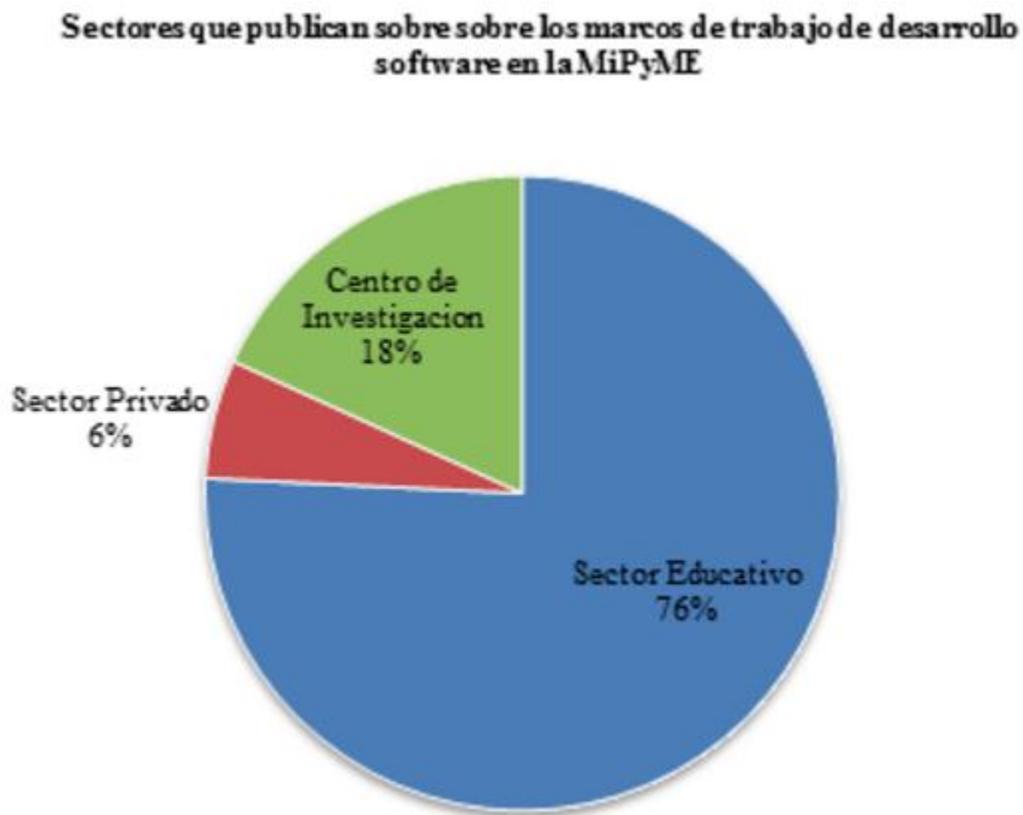


Figura 3. Sectores que publican en el tópico seleccionado.

Modelos de proceso usados:

En el análisis de los modelos usados, se tomaron en consideración aquellos estudios que se basaron, cuando menos, en alguno de los siguientes modelos: CMMi, IDEAL, Cascada (Pressman, 2014), y UCD (Venturi y Troost, 2004). En los casos donde los estudios se apoyaron en más de un modelo, éstos últimos se separaron y se clasificaron en la categoría correspondiente. Como se observa en la Figura 4, el modelo más usado es CMMi con un 33%, seguido por IDEAL con 22%. Así mismo, se observa que la categoría Otros (donde se incluyen los modelos CMM, Cascada y UCD) en conjunto suma el 45%. Estos resultados muestran que los modelos tratados en los estudios revisados, aun cuando son adaptaciones que se basan principalmente en modelos para las grandes empresas, el uso de los modelo para la MiPyME, es indudable. Esto sugiere cierto grado de madurez en el conocimiento, la aceptación y la experimentación de dichos modelos en las MiPyMEs, aunque falta camino por recorrer.

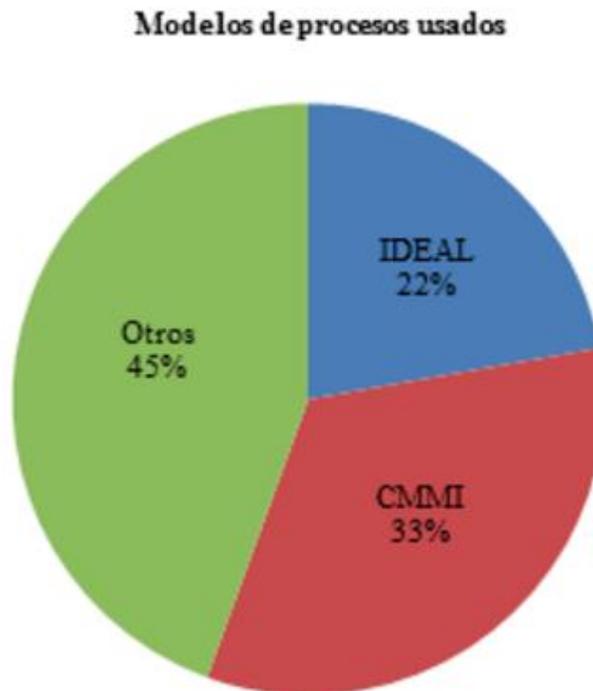


Figura 4. Modelos de procesos usados.

Metodologías consideradas:

En el análisis de las metodologías utilizadas, se consideraron los estudios que trataron, al menos, alguna de las siguientes metodologías: XP (Beck, 2000), COMPETISOFT (COMPETISOFT, 2006), SCRUM (Schwaber, 1995), RUP (Krunchten, 2004), Crystal Orange (Cadavid, Fernández, y Morales, 2013), RE (Manganelli y MKlein, 1995), MESOPYME (Calvo-Manzano, Cuevas, San Feliu Gilabert, Serrano, y García, 2006), V-Modell XT (Weit, 2005), MDA (Kleppe, Warmer, y Bast, 2003), OMT (Lorensen, Rumbaugh, y Blaha, 1991), Automotive OMG (Automotive SIG, 2007), SPICE(Automotive SIG, 2007), SQUARE (Mead y Stehney, 2005), y UCP (Karner, 1993). Si alguna publicación consideró más de una, éstas fueron separadas y se clasificaron en la categoría correspondiente. Como se muestra en la Figura 5, el 12% de las metodologías se concentran en Xtreme Programing (XP). El 88% restante (representado por la categoría Otras) concentra a las otras metodologías: COMPETISOFT, SCRUM, RUP, Crystal Orange, RE, MESOPYME, V-Modell XT, MDA, OMT, Automotive OMG, SPICE, SQUARE, UCP. Estos resultados sugieren que XP es una las metodologías más usadas, lo que se corrobora de acuerdo con los resultados publicados por Dybå y Dingsøy (2008).

Metodologías consideradas

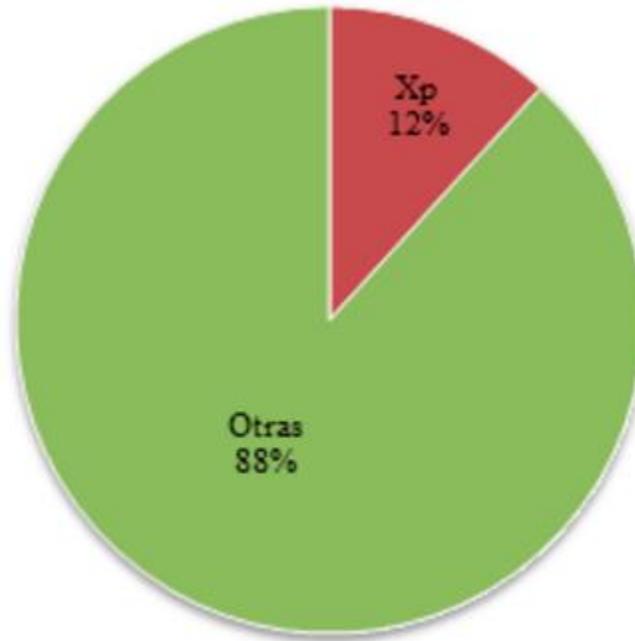


Figura 5. Metodologías consideradas.

Estándares utilizados:

En el análisis de los estándares empleados, se consideraron los estudios que trataron, al menos, algún estándar. Éstos se clasificaron en su categoría correspondiente: ISO/IEC 15504, CORBA, y Otros (ISO 9000 (International Standard Organization, 2010), ISO WD 26262 (Automotive Standards Committee of the German Institute for Standardization, 2005), ISO/IEC 61131-3 (International Electrotechnical Commission, 1993), OMG (OMG, 2015), UX (ISO/IEC 9241 – 2102010) (International Organization for Standardization, 2010), IEC 61508 (International Electrotechnical Commission, 1999), ISO 9241 – 11 (ISO/IEC, 1998)). Como se muestra en la Figura 6, los estándares de mayor uso son ISO/IEC y CORBA, cada uno, con un 18%. Así mismo, se observa que existen otros modelos que en su conjunto suman el 64%: ISO 9000, ISO WD 26262, ISO/IEC 61131-3, OMG, UX (ISO/IEC 9241 – 2102010),

IEC 61508, ISO 9241 – 11. Estos resultados sugieren que la comunidad en Ingeniería de Software está apostando mayormente a estándares ISO, motivado probablemente, porque sean conocidos entre la comunidad y no tan complicados en su implementación, además de ofrecer la posibilidad de obtener una certificación internacional (Cater-Steel, Toleman, y Rout, 2005; Mas, Fluxà, y Amengual, 2012; Taramaa, Makarainen, y Ketola, 1995; Valdés, Visconti, y Astudillo, 2011).

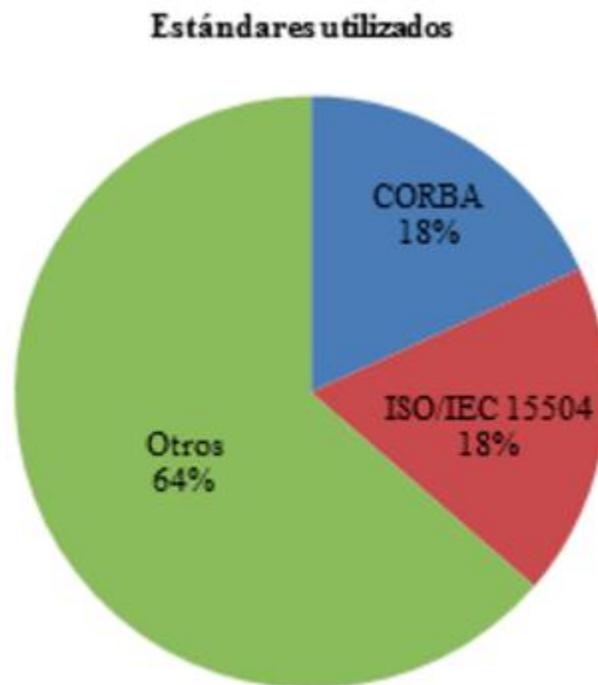


Figura 6. Estándares utilizados.

Procesos técnicos, proceso de implementación y procesos de reuso del software:

En el análisis de los procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reuso, del software, se seleccionaron los estudios que aportaron alguna mejora, al menos, en uno de los procesos mencionados. En los casos donde las publicaciones aportaron alguna mejora en más de un proceso

técnico, procesos de implementación y procesos de reúso, del software, éstos últimos se separaron y se clasificaron en las categorías correspondientes (análisis de requisitos del sistema, análisis de los requisitos software, diseño de la arquitectura del sistema, diseño de la arquitectura del software, construcción, gestión del programa de reutilización). Como se observa en la Figura 7, los procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reúso, del software, que reciben contribuciones de los estudios seleccionados son: análisis de requisitos del sistema con un 33%, construcción con un 29%, análisis de los requisitos software con 15%, diseño de la arquitectura del software con 13%, diseño de la arquitectura del sistema con un 8% y gestión del programa de reutilización con un 2%. Algunas razones que quizá está potenciando la investigación en dichos procesos son: especificaciones incompletas, cambios continuos en requerimientos (Quispe, Marques, Silvestre, Ochoa, y Robbes, 2010), falta de formalidad en procesos y metodologías (Alexandre, Renault, y Habra, 2006), en particular informalidad en la descripción de componentes arquitectónicos y en el modelado, así como la carencia de control en los procesos (Hofer, 2002; Pino, Pedreira, Garcia, Rodriguez, y Piattini, 2010), problemas comunes en la MiPyMEs desarrolladoras de software.

Procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reuso del software.

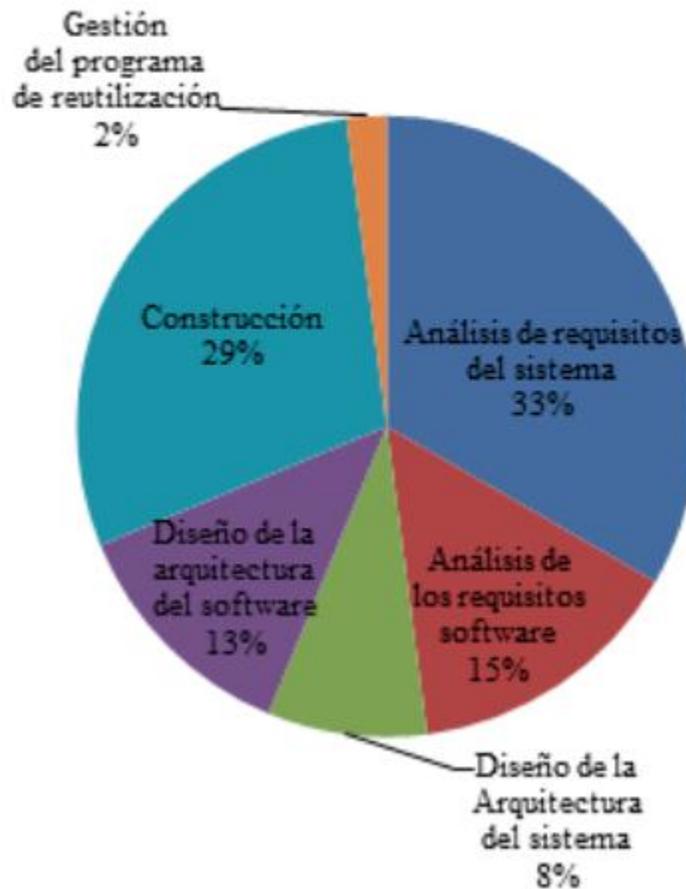


Figura 7. Procesos técnicos, procesos de implementación y procesos de reuso del software.

4. Conclusiones

Las revisiones sistemáticas permiten sintetizar la información existente sobre un fenómeno de forma minuciosa y empírica. Al final, la revisión sistemática obtiene como resultado una conclusión general sobre los estudios individuales del fenómeno en cuestión.

En este trabajo se han presentado los resultados de una revisión sistemática de la literatura sobre las contribuciones a los marcos de trabajo de desarrollo

de software, en el contexto de las MiPyME's desarrolladoras de software, en el periodo comprendido de 1995 a diciembre de 2013.

El interés de la comunidad de Ingeniería de Software, en relación al tópico seleccionado, muestra una tendencia incremental que sugiere continuará. Se encontró que a nivel mundial, principalmente en los países desarrollados y emergentes, la mayoría de estudios se han realizado en el sector educativo y en los centros de investigación, quedando relegado el sector privado. Estos resultados probablemente indiquen que la mayoría de las contribuciones del tema sean a nivel conceptual, quedando aún camino por recorrer referente a las aportaciones del sector privado.

En cuanto a modelos y metodologías desarrolladas para la MiPyME, los modelos preferidos para su adaptación son: CMMi e IDEAL. Por otra parte, la metodología más usada es Extreme Programming. Respecto a los estándares preferidos para su adaptación a la MiPyME, se encuentran: ISO/IEC 15504 y CORBA.

También se encontró que los esfuerzos están centrados en el análisis de los requisitos, la construcción y el diseño de la arquitectura del software.

Se espera que estos resultados contribuyan al cuerpo de conocimientos del tema en cuestión y sirva de guía para profundizar la investigación en algunos de los marcos de trabajo encontrados.

Referencias

Al-Habashna, A., Dobre, O., Venkatesan, R., & Popescu, D., (2012) "Second-Order Cyclostationarity of Mobile WiMAX and LTE OFDM Signals and Application to Spectrum Awareness in Cognitive Radio Systems," IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING, 6(1), 26-42.

Automotive Standards Committee of the German Institute for Standardization. (2005). ISO/WD 26262: Road Vehicles – Functional Safety. Preparatory Working Draft, Technical Report.

Beck, K. (2000). *Extreme programming explained: Embrace change*. Boston: addition-Wesley.

Biolchini, J., Gomes, P., Cruz, A., y Orta, G. (2005). *Systematic review in software engineering*, RT-ES679/05. Rio de Janeiro: Systems Engineering Computer Science Department.

Cadavid, A. N., Fernández, J. D., y Morales, J. (2013). *Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software*. *Prospectiva*, 11 (2), 30-39.

Calvo-Manzano, J. A., Cuevas, G., San Feliu Gilabert, T., Serrano, R., y García, I. (2006). *A software process improvement solution for small and medium-size enterprises*. Pittsburgh, Carnegie Mellon University: Software Engineering Institute.

Cater-Steel, A., Toleman, M., y Rout, T. (2005). *Process improvement for small firms: An evaluation of the RAPID assessment-based method*. *Information and Software Technology*, 48(5), 323-334.

CMMI Product Team. (2010). *CMMI for Development, Version 1.3*. CMU/SEI-2010-TR-033. Pittsburgh Carnegie Mellon University: Software Engineering Institute.

COMPETISOFT. (2006). *COMPETISOFT - Mejora de Procesos para Fomentar la Competitividad de la Pequeña y Mediana Industria del Software de Iberoamérica*. Versión 0.2.

Desharnais, J., Zarour, M., y April, A. (2007). *Very Small Enterprises (VSE) Quality Process Assessment*. (Artículo de investigación). Department of Software and IT Engineering: École de Technologie Supérieure. Recuperado de: ResearchGate, <http://www.researchgate.net/publication/228844814>

Duron, B., Muñoz, M., y Mejia, J. (2013). *Actual state of implementing software process improvements in software organizations*. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*.

Dybå, T., y Dingsøyr, T. (2008). *Empirical studies of agile software development: A systematic review*. *Journal Information and Software Technology*, 50, 833-859. doi: 10.1016/j.infsof.2008.01.006

Fayad, M. E., Laitinen, M., y Ward, R. P. (2000). *Software Engineering in the Small*. *Communications of the ACM*, 43, 115-118. doi:10.1145/330534.330555

Gómez, G., Aguilera, A., Ancona, G. B., y Gómez, O.S. (2014). *Avances en las Mejoras de Procesos Software en las MiPyMEs Desarrolladoras de Software: Una*

Revisión Sistemática. Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software, 2(4), 262-268.

Hofer, C. (2002). Software Development in Austria: Results of an Empirical Study among Small and Very Small Enterprises. 28 th Euromicro Conference, 361-366. doi: 10.1109/EURMIC.2002.1046219.

Hurtado, J., y Bastarrica, C. (2005). PROYECTO SIMEP-SW. Universidad del Cauca.

International Electrotechnical Commission. (1993). Programmable controllers Part 3–Programming languages. IEC 61131–3. Geneva.

International Electrotechnical Commission. (1999). IEC 61508 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related system. Parts 1-7. International Electro-technical Commission. International Electrotechnical Commission.

International Organization for Standardization. (2010). ISO 9241-210:2010 Ergonomics of human-system interaction -- Part 210: Human- centred design for interactive systems. International Organization for Standardization

International Standard Organization. (2004). ISO/IEC 15504-2:2003 Information technology— Process assessment — Part 2: Performing an assessment. Switzerland: International Standar Organization.

International Standard Organization. (2010). ISO 9000 - Quality management. Recuperado de www.iso.org

ISO/IEC. (1998). Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDT)s - Part 14 Menu dialogues, ISO/IEC 9241-14.

ISO/IEC/IEEE. (2008). IEEE STD 12207-2008 Standard for Systems and Software Engineering - Software Life Cycle Processes. IEEE.

Karner, G. (1993). Resource estimation for Objectory projects. Objective Systems SF AB (copyright owned by Rational Software).

Kitchenham, B.A., Pfleeger, S.L., Pickard, L.M., Jones, P.W., Hoaglin, D.C., El-Emam, K., y Rosenberg, J. (2001). Preliminary Guidelines for Emprical Research in Software Engineering. National Research Council Canada: Institute for Information Technology.

Kleppe, A., Warmer, J., y Bast, W. (2003). MDA Explained: The Model Driven Architecture: Practice and Promise. Boston, Addison-Wesley Longman Publishing Co.

Krunchten, P. (2004). *The racional process: An introduction*. Addison-Wesley Professional.

Lorensen, W., Rumbaugh, J., y Blaha, M. (1991). *Modelado y diseño orientado a objetos*. Metodología OMT.

Manganelli, R. L., y MKlein, M. (1995). *Cómo hacer reingeniería*. Bogotá, Grupo Editorial Norma.

Mas, A., Fluxà, B., y Amengual, E. (2012). Lessons learned from an ISO/IEC 15504 SPI programme in a company. *Journal of Software: Evolution and Process*, 24(5), 493-500. doi: 10.1002/smr.501

McFeeley, B. (1996). *IDEAL: A User's Guide for Software Process Improvement*. Pittsburgh, Carnegie Mellon University: Software Engineering Institute.

Mead, N., y Stehney, T. (2005). Security quality requirements engineering (SQUARE) methodology. *SESS '05 Proceedings of the 2005 workshop on Software engineering for secure systems—building trustworthy applications*, 30(4), 1-7. doi>10.1145/1083200.1083214

Mowbray, T. G., y Zahavi, R. (1995). *The essential CORBA: systems integration using distributed objects*. New York: Wiley.

Oktaba, H., Esquivel, C. A., Ramos, A. S., Martínez, A. M., Osorio, G. Q., López, M. R. et al. (2003). *Modelo de Procesos para la Industria de Software MoProSoft, Versión 1.1*.

Ochoa, S.F., Quispe, A., Vergara, A., y Pino J. A. (2010). Improving Requirements Engineering Processes in Very Small Software Enterprises Through the Use of a Collaborative Application. *14th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*.

OMG. (2015). *Object Management Group*. Recuperado de: www.omg.org

Pino, F., García, F., y Piattini, M. (2006). Revisión sistemática de mejora de procesos software en micro, pequeñas y medianas empresas. *Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, 2(1), 6-23.

Pino, F., Pedreira, O., Garcia, F., Rodriguez, M., y Piattini, M. (2010). Using Scrum to the Guide the Execution of Software Process Improvement in Small Organization. *The Journal of System and Software*, 83(10), 1662-1677

Pressman, R. S. (2006). *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico*. (Sexta edición). McGraw Hill.

Pressman, R. S. (2014). *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico*. (Tercera edición). McGraw Hill.

Quispe, A., Marques, M., Silvestre, L., Ochoa, S., y Robbes, R. (2010). Requirements Engineering Practices in Very Small Software Enterprises: A Diagnostic Study. XXIX International Conference of the Chilean Computer Science Society, 81-87. doi: 10.1109/SCCC.2010.35

Richardson, I. (2001). Software process matrix: a small company SPI model. *Software Process: Improvement and Practice*, 6(3), 157-165.

Weit e.V. (2005). The V-Modell XT. Recuperado de www.v-modell-xt.de

European Commission ESPRIT/ESSI Programme. (1993). *Software Process Improvement in Regions of Europe (SPIRE)*. Recuperado de: <http://www.cse.dcu.ie/spire/>

Schwaber, K. (1995). The scrum development process. *Proceedings of the Tenth Annual Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications*, Austin, Texas, USA.

Taramaa, J., Makarainen, M., y Ketola, T. (1995). Improving Application Management Process through Qualitative Framework. *International Conference on Software Maintenance*, 327-336. doi:10.1109/ICSM.1995.526554

Valdés, G., Visconti, M., y Astudillo, H. (2011). The Tutelkan Reference Process: A Reusable Process Model for Enabling SPI in Small Settings. *18th European Conference, EuroSPI 2011*, 172, 179-190.

Vega, J. M., Fernández de Lucio, I., y Huanca, R. (2007) . La Relación Universidad-Empresa en América Latina: ¿Apropiación Incorrecta de Modelos Foráneos?. *Journal of Technology Management & Innovation*, 2(2), 97-109.

Venturi, G., y Troost, J. (2004). Survey on the UCD integration in the industry. *Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction*, 449-452. doi: 10.1145/1028014.1028092

Wangenheim, G. C., Rossa, J. C., Salviano, C. F., y Wangenheim, A. (2010). Systematic Literature Review of Software Process Capability/Maturity Models. *Proceedings of International Conference on Software Process. Improvement And Capability determination (SPICE)*.

Weber, K., Araújo, E., Rocha, A., Machado, C., Scalet, D., y Salviano, C. (2004). Brazilian Software Process Reference Model and Assessment Method. *Computer and Information Sciences - ISCIS 2005*, 402-411.

Notas biográficas:

Antonio A. Aguilera Es Licenciado en Ciencias de la Computación, egresado de la Facultad de Matemáticas (FMat) de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Maestro en Ciencias Computacionales por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), campus Monterrey. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo e integrante del Grupo Académico de Tecnologías para la Formación en Ingeniería de Software en la FMat. El área de investigación de su interés gira en torno a la Ingeniería de Software e Informática Educativa.

Grisel B. Ancona Es Ingeniera de Software por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Actualmente es directora de la organización Women Who Code Mérida, e Ingeniera de Software en la empresa Grou Up. La línea de investigación de su interés es en torno a la mejora de procesos software.

Edwin J. León Es Licenciado en Ciencias de la Computación por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Maestro en Administración de Tecnologías de Información por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), campus Monterrey. Actualmente es Profesor Asociado en la Facultad de Matemáticas e integrante del Grupo Académico de Ingeniería de Software de la UADY. La línea de investigación de su interés es en torno procesos de desarrollo de Software.

Juan P. Ucán Es Doctor en Sistemas Computacionales por la Dirección de Posgrado e Investigación de la Universidad del Sur, campus Mérida, Maestro en Sistemas Computacionales con especialidad en Ingeniería de Software por

el Instituto Tecnológico de Mérida, Licenciado en Ciencias de la Computación por la Facultad de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Es Profesor Titular en la Facultad de Matemáticas e integrante del Grupo Académico de Tecnologías para la Formación en Ingeniería de Software de la UADY. Su trabajo de investigación se centra en temas relacionados con la Ingeniería de Software, Ingeniería Web e Informática Educativa.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Evaluación de desempeño de los estimadores de desplazamiento de frecuencia de portadora en sistemas variantes en el tiempo

Luis Oswaldo Chávez Torres
Universidad de Guadalajara
luisoswaldochavez@gmail.com

Roberto Carrasco Alvarez
Universidad de Guadalajara
roberto.carrasco@red.cucei.udg.mx

Resumen: Una evaluación del desempeño de los algoritmos de estimación del desplazamiento de la frecuencia de portadora (CFO) es presentado para sistemas OFDM bajo la suposición de variabilidad temporal del canal de comunicación. Típicamente, dichos algoritmos se basan en el propuesto por Timothy Schmidl y Donald Cox, el cual a partir de una secuencia entrenamiento y considerando invariabilidad del canal lleva a cabo la sincronización de trama y la estimación del CFO, aproximándose al límite inferior de Cramér-Rao. La evaluación del desempeño se llevó acabo considerando ambientes con diversas relaciones señal a ruido (SNR) y diferentes frecuencias Doppler (FD). De los resultados obtenidos se ha podido corroborar que el error cuadrático medio de la estimación del CFO suponiendo una sincronización en tiempo perfecta, se incrementa a medida que el canal se vuelve más variante en el tiempo. Lo cual da pie a la

búsqueda de nuevas técnicas de estimación y corrección del CFO para canales variantes en el tiempo.

Palabras Clave: OFDM, canal variante en el tiempo, CFO.

Performance evaluation of the estimates of carrier frequency offset in varying systems over time

Abstract: A performance evaluation of algorithms for estimating of carrier frequency offset (CFO) is presented for OFDM systems under the assumption of temporal variability of the communication channel. Typically, these algorithms are based on that proposed by Timothy Schmidl and Donald Cox; which from a training sequence and considering invariance channel performs frame synchronization and estimation of CFO, approaching the lower limit of Cramer-Rao. Performance evaluation was just considering environments with different signal-to-noise ratio (SNR) and different Doppler frequency (FD). From the results obtained it was possible to confirm that the mean square error of the estimation of CFO assuming a perfect synchronization time increases as the channel becomes more time-variant. Which leads to the search for new techniques CFO estimation and correction for time varying channels.

Keywords: OFDM, time varying channel, CFO.

1. Introducción

Uno de los esquemas de modulación más utilizados en la actualidad es el de multiplexado por división de frecuencias ortogonales (OFDM) el cual hace un uso eficiente del espectro de frecuencia debido a la ortogonalidad de sus portadoras. Adicionalmente está concebido para ser robusto a los efectos de múltiples trayectorias de un canal de comunicación móvil (Saito, Moriyama & Nakahara, 1996). Actualmente OFDM se utiliza en los estándares 802.11

(IEEE, 1999), 802.16 para el acceso inalámbrico en redes metropolitanas (Zhao & Cui, 2011) y LTE (Al-Habashna et al, 2012).

Por otra parte, la transmisión en canales inalámbricos puede ocasionar interferencia intersimbólica (ISI), así como interferencia entre portadoras (ICI). El ISI es causado por la dispersión en el tiempo debido a la propagación por múltiples trayectorias mientras que el ICI es resultado de la dispersión de frecuencia debido al efecto Doppler (variabilidad temporal del canal) y al desplazamiento de la frecuencia de portadora (CFO) debido a las diferencias existentes entre los osciladores del transmisor y el receptor (Montoj & Milstein, 2009). De esta manera, el receptor debe ser capaz de poder contrarrestar estos fenómenos adversos. Actualmente, la manera de compensar estos problemas, es mediante dos algoritmos distintos que estimen y contrarresten el efecto del canal y del CFO. En este sentido existen algoritmos que pueden lidiar tanto con canales variantes e invariantes en el tiempo bajo la suposición de que el CFO es nulo. Por su parte, el CFO ha sido investigado en (Schmidl et al, 1997) donde se propone el uso del preámbulo para llevar a cabo la sincronía de trama y la corrección del CFO mediante el uso de correlaciones. Una modificación de este algoritmo fue presentado en (Morelli & Mengali, 1998) para ruido blanco Gaussiano (AWGN) aditivo, en (Kuo & Fitz, 1997) se lleva a cabo la estimación para canales con desvanecimiento plano, mientras que el caso de canales selectivos en frecuencia es abordado en (Hebley & Taylor, 1998), donde los autores derivan el estimador de máxima verosimilitud (ML) para el CFO.

Como se puede observar, los algoritmos existentes para la estimación del CFO son propuestos para canales invariantes en el tiempo. Así, en el siguiente trabajo se presenta una evaluación del desempeño del algoritmo de estimación de CFO propuesto por Schmidl et al en canales variantes en el tiempo bajo la suposición de sincronía perfecta de trama. El objetivo es determinar hasta que condiciones de movilidad este algoritmo funciona de manera adecuada y así evaluar su pertinencia en dispositivos de comunicación móviles. Para llevar a

cabo esta evaluación, se simuló el algoritmo suponiendo diferentes canales variantes en el tiempo (frecuencia Doppler) bajo varias relaciones señal a ruido.

El resto del artículo es organizado de la siguiente manera: el capítulo dos presenta el esquema de trama OFDM transmitida, el modelo matemático del sistema de comunicación que considera el CFO y la recepción de los datos. El capítulo tres está dedicado a presentar el algoritmo de estimación de CFO. El planteamiento de la simulación y los resultados obtenidos son expuestos en el capítulo cuatro, mientras que las conclusiones son plasmadas en el capítulo cinco.

2. Sistema de comunicación

2.1 Generación de la señal OFDM

La señal transmitida es una trama de OFDM, tal como se propone en el estándar de comunicación 802.11a (IEEE, 1999). Ésta consta de un preámbulo y M símbolos de datos, donde el preámbulo se compone de 10 símbolos cortos y dos símbolos largos, los cuales son secuencias de entrenamiento, que sirven para la corrección del CFO, la sincronización en tiempo y la estimación de canal. Cada símbolo OFDM consta de N muestras, precedidos de un prefijo cíclico de tamaño P , el cual es de mayor duración que el máximo retardo del canal.

2.2 Modelo matemático del sistema de comunicación y recepción de los símbolos OFDM.

Partiendo de un sistema de comunicación en banda base para OFDM, donde los efectos del CFO y la variabilidad temporal del canal han sido considerados, tenemos que la señal recibida puede ser expresada como:

$$x[k] = e^{j2\pi f_o k} \sum_{l=0}^{L-1} (h[k, l] s[\langle k - l \rangle_{N_r}]) + n[k]$$

Ecuación 1.

donde $x[k]$ es la señal recibida, $h[k, l]$ es la respuesta al impulso del filtro FIR que modela el canal variante en el tiempo, k enumera las muestras en el dominio del tiempo, $0 < l < L-1$ enumera los coeficientes del filtro, $s[k]$ es la señal transmitida, $\langle k \rangle_{N_r}$ es el módulo N_r de k , f_o es el desplazamiento en frecuencia y $n[k]$ es ruido blanco Gaussiano aditivo.

El receptor lleva acabo la sincronía en tiempo, la estimación del CFO, la equalización de canal, la demodulación y decodificación. Esta parte regenera el mensaje original transmitido.

3. Algoritmo de estimación

3.1 Sincronización de frecuencia

Como se muestra en (Pollet, Bladel & Moeneclaey, 1995) y (Steendam, Moeneclaey & Sari, 1998), la falta de sincronización en frecuencia en sistemas OFDM conlleva a una degradación de la información recibida, de ahí la necesidad de ser corregido. Los algoritmos que atacan este tipo de problema se dividen en dos, NPSA (No ayudado por pilotos - Non Pilot Symbol Aided) (García, 2001) o NDA (No ayudados por datos - Non Data Aided) (Classen, & Meyr, 1994), estos algoritmos no requieren de ningún símbolo piloto para realizar la sincronización. Suelen utilizar la redundancia en el prefijo cíclico, la propiedad de cicloestacionariedad que posee OFDM o ciertas propiedades de

la modulación de los datos. Por otra parte tenemos los PSA (Ayudado por pilotos Pilot Symbol Aided) (García, 2001) o DA (Ayudado por datos Data Aided) (Classen, & Meyr, 1994), estos requieren de una información conocida en ciertas subportadoras (subportadoras piloto) para la sincronización. Suelen llevar una pérdida pequeña en eficiencia puesto que esas subportadoras no transportan datos. No obstante suelen ser más robustos que los NPSA y los estándares que utilizan OFDM suelen disponer de ciertas subportadoras piloto, que pueden ser utilizadas para la sincronización, la estimación de canal, el seguimiento de la desviación de frecuencia, etc.

En este trabajo se evaluó el desempeño del algoritmo de estimación del CFO propuesto en (Schmidl et al, 1997) el cual utiliza el paradigma de PSA basados en preámbulos. Para llevar a cabo esta evaluación se supuso la existencia de sincronía perfecta de inicio de trama. Dado que el símbolo largo del preámbulo está compuesto de dos mitades iguales de entrenamiento, la diferencia de fase que existe entre cualquier muestra de estas dos mitades al existir CFO está dada por:

$$\phi = \pi T f_o$$

Ecuación 2.

esta diferencia de fase puede ser estimada mediante la obtención de la correlación cruzada de la primera mitad del símbolo largo con la segunda mitad del mismo símbolo, así:

$$\hat{\phi} = \angle(P)$$

Ecuación 3.

donde P es la correlación entre las dos mitades del símbolos largo y \angle es el ángulo de su argumento. Si se puede garantizar que $|\phi|$, es menor que π , un estimado del desplazamiento de frecuencia es:

$$\hat{f}_o = \frac{\hat{\phi}}{\pi T}$$

Ecuación 4.

4. Resultados de simulación

La evaluación del desempeño del algoritmo de estimación fue realizada bajo los siguientes criterios de simulación. Símbolos OFDM de N=64 muestras de las cuales 48 muestras son de datos y 6 de entrenamiento, cada símbolo tiene un prefijo cíclico de tamaño M=16. Se supone una frecuencia de muestreo de 20e6 Hz. El canal de comunicación bajo consideración fue de tipo Rayleigh el cual posee un perfil de potencia de retardo (PDF) compuesto de seis trayectorias aleatorias en los instantes de tiempo [0, 200, 800, 1200, 2300, 3700] ns con potencias promedio [0, -0.9, -4.9, -8, -7.8, -23.9] dB respectivamente. Adicionalmente, para simular diferentes escenarios de movilidad, se supuso diferentes espectros de potencia Doppler (PDE) de tipo Jakes con frecuencias Doppler máximas FD_max= [0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900] Hz. Para la simulación, el CFO fue fijado a 10000 Hz mientras que la relación señal a ruido fue de SNR = [0, 5, 10, 15, 20, 25, 30] dB. La simulación fue implemetada en el ambiente de trabajo Matlab, en donde se llevaron a cabo 100 realizaciones Monte-Carlo para cada posible combinación de SNR contra FD_max, obteniéndose como resultado el error cuadratico medio (MSE) del estimador del CFO.

En la figura 1, se presenta el error cuadrático medio (MSE) normalizado respecto a la duración del símbolo OFDM del estimador de CFO en función de los valores propuestos de SNR y FD. Se puede observar que conforme se decrementa el SNR el desempeño del estimador se ve disminuido. También es posible notar que la curva obtenida correspondiente a $FD=0$ Hz (canal invariante) corresponde a la presentada en Schmidl et al; sin embargo, conforme se incrementa FD el desempeño va disminuyendo lo cual es atribuible a que el estimador no puede discernir de manera óptima entre la variabilidad del canal y el desplazamiento de frecuencia debido a los osciladores.

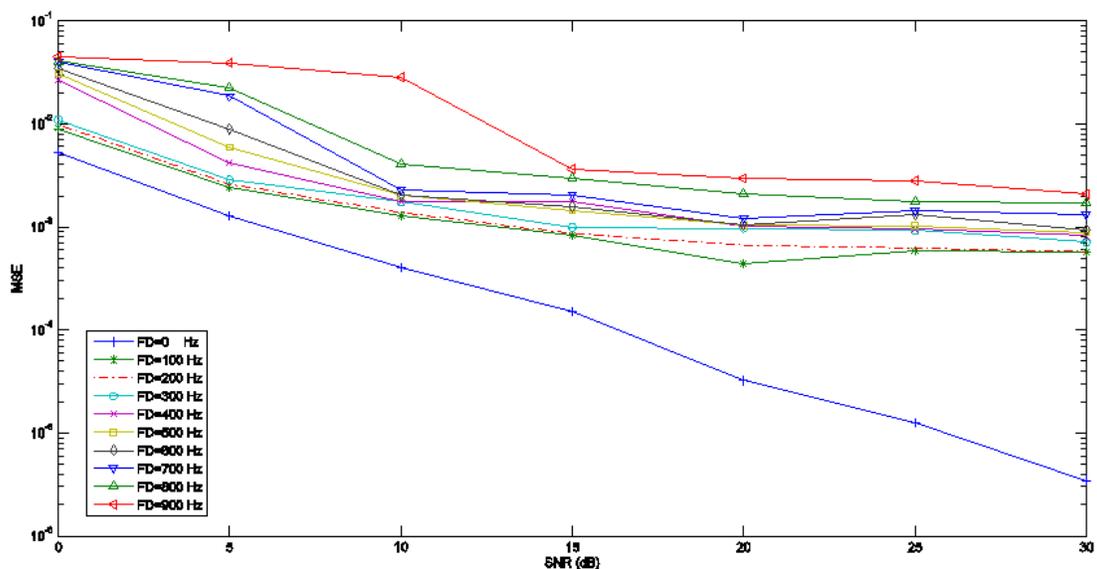


Figura 1.

Comparación del Error Cuadrático Medio (MSE) obtenido a partir de la estimación del Carry Frequency Offset (CFO) en función de la relación señal a ruido (SNR) y la Frecuencia Doppler (FD).

5. Conclusiones

Este trabajo abordó el problema de sincronización en frecuencia en sistemas OFDM, en particular, una revisión del desempeño del algoritmo presentado por Schmidl et al; en ambientes variantes en el tiempo. Para el caso de sistemas donde no se presenta el problema de variabilidad de canal, este algoritmo es altamente recomendado ya que es robusto ante presencia de selectividad frecuencial de canal. La robustez de dicho algoritmo empieza a perder fuerza en el momento que se presenta variabilidad de canal, como fue demostrado en este trabajo. Lo cual nos lleva a concluir, que se deben proponer nuevas técnicas de estimación y corrección del (CFO) para canales variantes en el tiempo.

Referencias

Al-Habashna, A., Dobre, O., Venkatesan, R., & Popescu, D., (2012) "Second-Order Cyclostationarity of Mobile WiMAX and LTE OFDM Signals and Application to Spectrum Awareness in Cognitive Radio Systems," IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING, 6(1), 26-42.

Classen, F. & Meyr, H., (1994). Frequency synchronization algorithms for OFDM systems suitable for communication over frequency selective fading channels. Proc.IEEE Vehicular Technology Conference. 44th, (pp. 1655-1659).

García, M., (2001). Time-Frequency techniques for efficient signaling in OFDM systems. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Politécnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación.

Hebley, M. G. & Taylor, D. P., (1998). "The effect of diversity on a burst-mode carrier-frequency estimator in the frequency-selective multipath channel," IEEE Trans. Commun., vol. 46, pp. 553–560.

IEEE, (1999). "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band", IEEE Std 802.11a.

Kuo, W. Y., & Fitz, M. P., (1997). "Frequency offset compensation of pilot symbol assisted modulation in frequency flat fading," IEEE Trans. Commun., 45, 1412–1416.

Montoj, J. & Milstein, L., (2009). Effects of Imperfections on the Performance of OFDM Systems. IEEE Transactions on Communications, 57(7), 2060-2070.

Morelli, M. & Mengali, U., (1998). "Feedforward frequency estimation for PSK: A tutorial review," Eur. Trans. Telecommun., 9, 103–116.

Pollet, T., Bladel, M. V., & Moeneclaey, M. (1995). BER sensitivity of OFDM systems to carrier frequency offset and Wiener phase noise. IEEE Trans. on Communications, 43(2), 191-193.

Saito, M., Moriyama, S. & Nakahara, S., (1996), "Experimental and Simulation Results of an OFDM Modem for TV Broadcasters", SMPTE Journal.

Schmidl, T. M. & Cox, D. C., (1997). Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM. IEEE trans. on Communications, 45(12), 1613-1621.

Steendam, H., Moeneclaey, M., & Sari, H., (1998). The effect of carrier phase jitter on the performance of orthogonal frequency-division multiple-access systems. IEEE Trans. on Communications, 46(4), 456-459.

Zhao, X. & Cui, L., (2011). A New Frame synchronization Algorithm for OFDM WiMAX System in Simulink. IEEE International Conference on Computer Science and Network Technology, 4, 2321-2325

Zogakis, T.Ñ. & Cioffi, J. M. (1996). The effect of Timing Jitter on the Performance of a Discrete Multitone System. IEEE Trans. On Communications, 44(7), 799-808.

Notas biográficas:



Luis Oswaldo Chávez Torres Nació en Guadalajara, Jalisco en el año 1985. Recibió el grado de licenciatura en Ingeniería Mecatrónica en la Universidad CETI Colomos el 2012.

Actualmente es estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica y Computación en la Universidad de Guadalajara en la división de Diseño electrónico en el área de comunicaciones, trabajando en el

desarrollo de algoritmos para la estimación de canal y regeneración de datos para sistemas OFDM con el doctor Roberto Carrasco Álvarez. Él está interesado en el desarrollo en el procesamiento digitales de señales en sistemas de comunicación OFDM.



Roberto Carrasco Alvarez Nació en la ciudad de México en 1981. Cursó sus estudios universitarios en el Instituto Tecnológico de Morelia obteniendo el título en ingeniero electrónico en 2004. Llevó a cabo sus estudios de maestría y doctorado en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), en el área de telecomunicaciones, obteniendo los grados en los años 2006 y 2010 respectivamente. Ha sido profesor asistente en el CINVESTAV y profesor de asignatura en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Actualmente es profesor investigador en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Sus líneas de investigación incluyen el procesamiento digital de señales y las comunicaciones digitales.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Mapeo cromático dental a partir de imágenes digitales

Josué González Sandoval

**Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara
peyken20@gmail.com**

Monserrat Stephania Martínez Alvarez

**Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara
monse-mtz21@hotmail.com**

Patricia Alejandra Brand Rubalcava

**Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara
paty.brand55@gmail.com**

Sulema Torres-Ramos

**Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara
sulema.torres@cucei.udg.mx**

Israel Román-Godínez

**Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara
israel.roman@cucei.udg.mx**

E. Gerardo Mendizabal-Ruiz
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara
gerardo.mendizabal@red.cucei.udg.mx

Resumen: El mapeo cromático dental es una técnica que consiste en la estimación de las características ópticas de la dentadura del paciente. Su objetivo es crear un mapa de tonalidades que facilite, al especialista, la elección de resinas o cerámicas a utilizar en la restauración de piezas dentales. Actualmente, el mapeo cromático se realiza comparando directamente la dentadura del paciente contra una guía de colores. Dicho procedimiento se ve afectado por diferentes factores como: condiciones ambientales, características del paciente, percepción del especialista, entre otras, lo que involucra un alto grado de subjetividad. En el presente trabajo se describe un método para el mapeo cromático dental a partir de imágenes digitales. El principal objetivo de esta propuesta es reducir la subjetividad en la selección de los materiales para la reconstrucción de piezas dentales, y en un futuro, desarrollar una herramienta que realice este trabajo automáticamente.

Palabras Clave: Mapeo cromático dental, visión computacional, escala VITA.

Tooth Shade-Matching from Digital Images

Abstract: The tooth shade-matching is a technique that involves estimating the optical characteristics of the patient's teeth. It aims to create a map of colors that facilitate the specialist, the choice of resins or ceramics used in the restoration of teeth. Currently, the color mapping is performed by comparing directly the patient's teeth against a color guide. This procedure is affected by different factors such as environmental conditions, patient characteristics, perception of the specialist, among others, which involves a high degree of

subjectivity. In this paper a method for mapping tooth color from digital images is described. The main objective of this proposal is to reduce subjectivity in the selection of materials for the reconstruction of teeth, and in the future, develop a tool to do this job automatically.

Keywords: Tooth Shade-Matching, Computer Vision, VITA Scale

1. Introducción

La odontología es la ciencia médica encargada de la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades del aparato estomatognático, el cual está formado por el conjunto de órganos y tejidos que se encuentran en la cavidad oral, incluyendo dientes y encías.

Una de las áreas importantes de la odontología es la restauración dental, que consiste en la reparación total o parcial de piezas dentales dañadas, mediante el uso de diversos materiales como metal, resinas o cerámicas (Moscardó y Alemany, 2006). Para obtener los resultados biológicos, mecánicos y estéticos esperados, además del uso de materiales diseñados específicamente para dicha reconstrucción, es necesaria la determinación adecuada de las propiedades y características ópticas de los dientes (Joiner, 2004), incluyendo su forma, textura y color (Moscardó y Alemany, 2006).

1.1 Mapeo cromático dental

El mapeo cromático dental consiste en la estimación de las características ópticas de la pieza dental que se pretende restaurar, tomando como base la dentadura del paciente, específicamente el diente par de la pieza dañada. El mapa cromático generado es un mapa de tonalidades del diente, que facilita al especialista la elección de resinas o cerámicas a utilizar para la restauración del mismo, y lograr así la mayor naturalidad posible (García, 2011).

Generalmente, el diente par de la pieza a restaurar es dividido en tres secciones principales (cervical, media e incisal) (Fig. 1), y es comparado directamente con una guía de colores que representan las tonalidades disponibles de los materiales. Para cada una de estas secciones se asigna el valor de color en la guía, de acuerdo al promedio de toda el área de la sección (Garcia, 2011). Las guías de color ofrecen al odontólogo una escala para seleccionar las tonalidades de los materiales a emplear, así como una forma eficiente para solicitar estos materiales a los laboratorios. Aunque no existe una guía de colores que reproduzca todas las tonalidades presentes en los dientes naturales, sí están disponibles en el mercado algunas guías de color, que resultan bastante útiles.



Figura 1.

Ejemplo de la división estándar de la superficie del diente en tres secciones.

Crédito: <http://auxiliarodontologia.blogspot.mx/2013/02/la-superficie-dentaria.html>

1.1.1 Escala de color VITA

La escala VITA, con más de cincuenta años de uso, es una guía de color usada en los procedimientos que involucran reconstrucción dental. La mayoría de las resinas dentales comerciales disponibles emplean la clasificación VITA (Fig. 2). Esta escala utiliza dos parámetros para la estimación de los colores:

matiz y valor. El matiz o tono, es una de las propiedades fundamentales de los colores y se refiere a la percepción de las diferentes longitudes de onda de la luz visible. Por otro lado, el valor se refiere a la cantidad de luz que es reflejada por un objeto de un determinado matiz (Vicario, 1999). En los dientes, el matiz y el valor son características que dependen de la dentina, tejido elástico mineralizado con túbulos que albergan odontoblastos y que además, está compuesta en su mayoría por cristales de hidroxiapatita, colágeno, agua, proteínas y lípidos(García, 2011). En la escala VITA, el matiz se codifica con una sola letra; A: amarillo marronado, B: amarillo, C: gris y D: rosa grisáceo). Por otro lado, el valor es un rango que va de 1 a 4, en donde el 1 corresponde al valor más claro, y el 4 al más oscuro (Propdental, 2105). La combinación de los cuatro posibles matices (A, B, C, D) con los cuatro posibles valores (1, 2, 3, 4) nos dan como resultado 16 posibles combinaciones en la guía de colores de VITA (Fig. 2).



Figura 2.

Ejemplo de la escala de color VITA.

Crédito: <http://teethwhiteningperth.net.au/results/take-home/>

1.2 Subjetividad en el mapeo cromático dental

En general, el mapeo cromático dental es un proceso que se realiza de manera subjetiva, ya que la elección de la resina o cerámica a utilizar depende de la percepción del odontólogo, quien es el encargado de determinar cuál de las muestras de la guía se asemeja más al diente en cuestión, con base en la

luminosidad de los colores. Dicha subjetividad, y la necesidad de encontrar métodos que aproximen de una manera más precisa las propiedades cromáticas de los dientes, han impulsado la generación de instrumentos electrónicos que faciliten y agreguen objetividad, en el proceso de elección de los materiales a utilizar para la reconstrucción del diente.

Actualmente existen en el mercado diversos equipos que pueden ser utilizados para la estimación de las características de dichos materiales (Núñez Díaz y del Río Highsmith, 2007). Algunos equipos toman una muestra en puntos específicos del diente, requiriendo así varias lecturas para apreciar las variaciones de color en las diferentes regiones del mismo (ej., Digital Shade Guide, el Easy Shade y el ShadeEye-NCC). Otros equipos realizan una lectura extensa captando toda la superficie del diente, y mediante un software especializado realizan el mapeo cromático, el cual suele ser muy detallado y facilita la selección de resinas a utilizar (ej., IKAM, el Shadescan, el Shadevision y el Spectroshade (Cortez, Caldera, Ramírez, Liliana, y González, 2005)). Sin embargo, una de las principales desventajas de estos equipos es su elevado costo, lo que impide que muchos especialistas cuenten con uno en su consultorio.

En este artículo se presentan los avances en investigación y desarrollo de un método para el mapeo cromático dental, a partir de imágenes digitales tomadas con una cámara digital convencional, que permita reducir la subjetividad en la selección de los materiales para la reconstrucción de piezas dentales, y en un futuro, desarrollar una herramienta que realice este trabajo automáticamente.

2. Método propuesto

El método propuesto consta de dos partes: caracterización de los colores de la escala VITA y clasificación de píxeles de acuerdo con la escala VITA, mismas que se describen a continuación.

2.1 Caracterización de colores de la escala VITA

Debido a que la empresa VITA solo proporciona los muestrarios de resinas disponibles, y no entrega información cuantitativa de los colores en dicha escala, es necesario llevar a cabo la caracterización de cada uno de los colores en el muestrario. Este procedimiento consiste en utilizar la imagen digital de uno de los muestrarios (Fig. 2) y extraer 16 sub-imágenes, una por cada región central de las 16 combinaciones posibles entre matiz y valor (Fig. 3). El resultado son 16 imágenes M_i , $i \in [1, 2, \dots, 16]$ en un espacio de color RGB (8 bits por canal, para un total de 24 bits) que contienen, en sus píxeles, la distribución de color de cada una de las muestras. A cada una de las sub-imágenes se le asigna la etiqueta correspondiente a la clave VITA (ej. A1, B4, C3, etc.). Para cada subimagen se calcula la distribución de niveles de intensidad RGB (R para rojo, G para verde y B para azul), mediante el cómputo de histogramas de intensidad; uno por cada canal de color. El número de intervalos de clase utilizado para el cómputo de cada histograma es $n = 256$, debido a que es el número posible de valores que podemos tener para cada canal. Cada uno de los histogramas es normalizado utilizando como norma el número total de píxeles de cada subimagen. Finalmente, los tres histogramas, correspondientes a cada una de las 16 sub-imágenes, son concatenados para formar un vector $D_i \in R^{(n \times 3)}$ que representa la caracterización de cada una de las opciones de color de resina de la escala VITA. La figura 4 describe el flujo de este proceso de caracterización de manera visual.

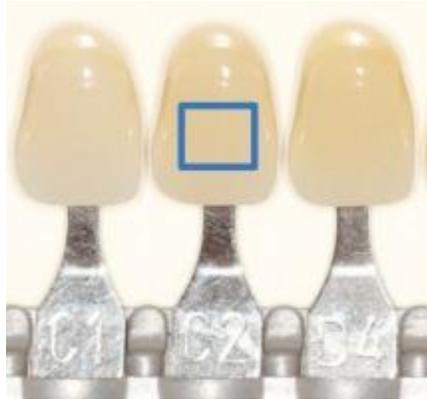


Figura 3.

Ejemplo de área seleccionada para la obtención de muestra a partir de la escala VITA.

Crédito: <http://teethwhiteningperth.net.au/results/take-home/>

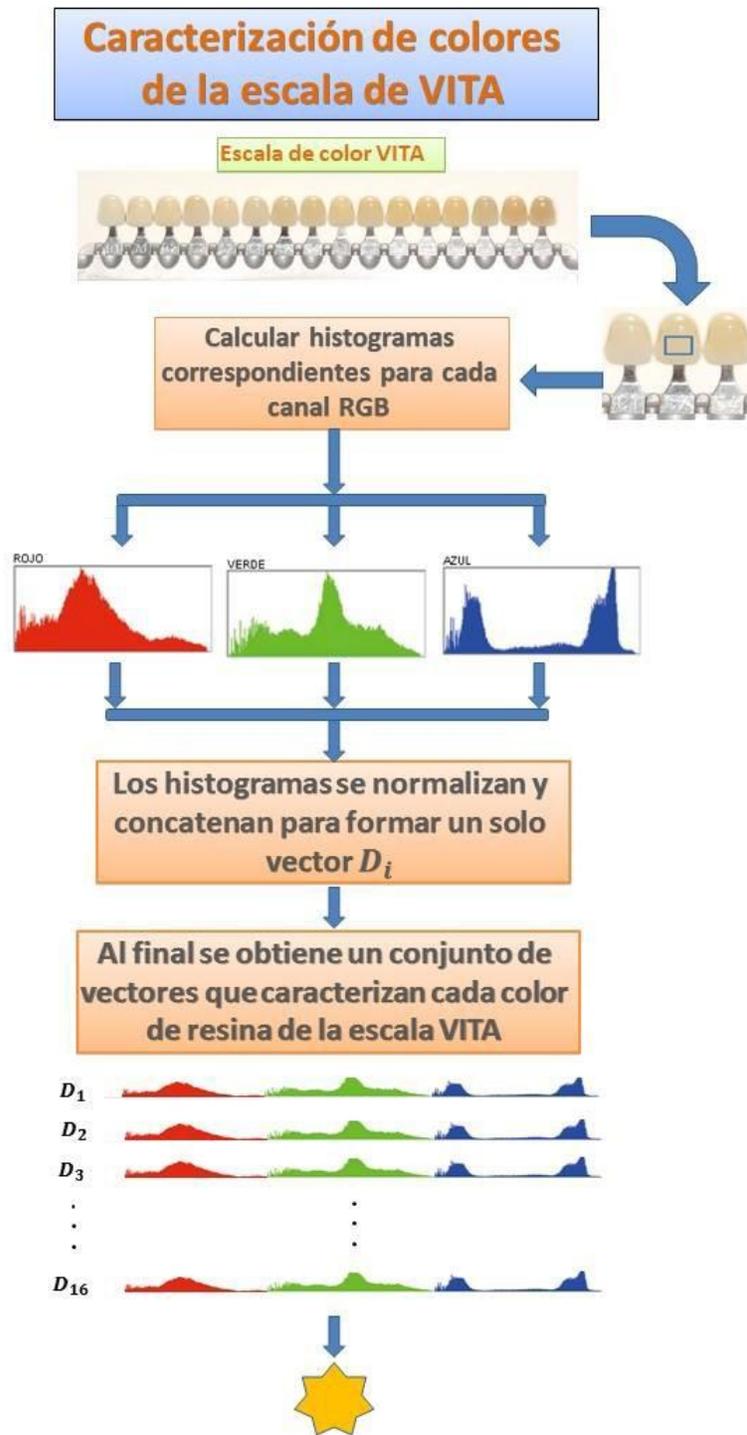


Figura 4.

Descripción del proceso de caracterización de colores de la escala VITA.

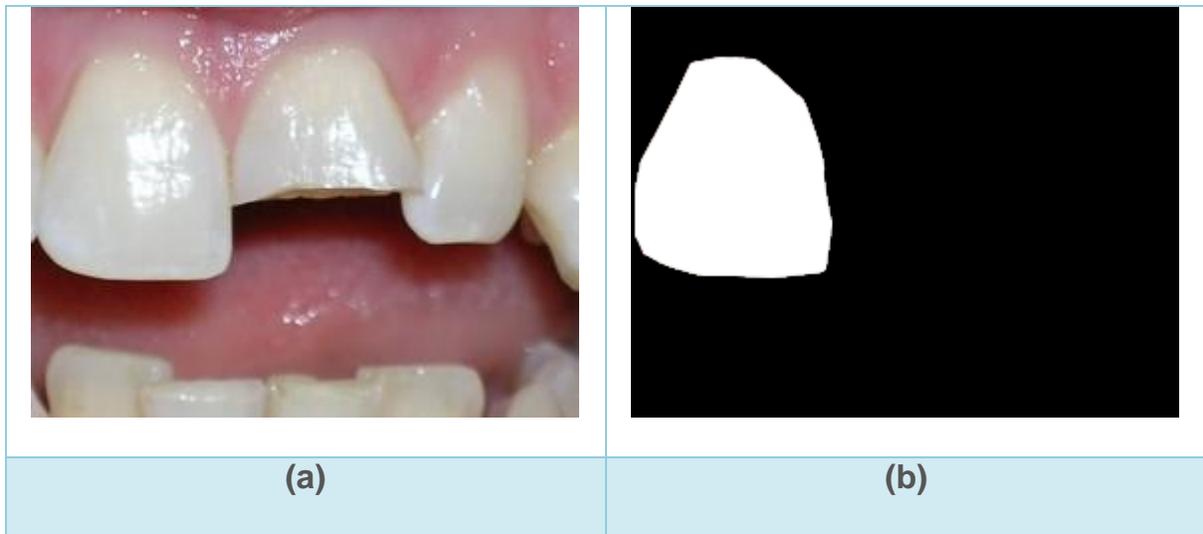


Figura 5.

Ejemplo de (a) fotografía digital de la boca de un paciente y (b) la máscara binaria correspondiente al diente seleccionado para el mapeo cromático.

2.2 Clasificación de píxeles de acuerdo con la escala VITA

Una vez que se cuenta con la caracterización de color de cada resina, el mapeo cromático dental se lleva a cabo a partir de una imagen digital F , que corresponde a una fotografía digital de la dentadura del paciente (Fig.5(a)). De la imagen F se elige el diente par de la pieza dañada, en caso de no existir éste, se elige el más cercano en distancia.

Para realizar el mapeo cromático con el diente elegido es necesario contar con una máscara binaria H , en donde los píxeles en blanco (con valor positivo) indiquen la región del diente seleccionado (Fig. 5(b)). Para cada uno de los píxeles $F(i, j)$ para los cuales $H(i, j) = 1$ se calcula la distribución de intensidad de los píxeles dentro de una ventana cuadrada de tamaño w centrada en el píxel (i, j) . Esto, al igual que en la fase de caracterización de colores de la escala VITA, se lleva a cabo por medio del cómputo de los histogramas normalizados para cada canal de color RGB. Nuevamente, los histogramas son

concatenados para formar un vector $V_x \in R^{(n \times 3)}$ para cada uno de los píxeles $x \in w \times w$ dentro del área seleccionada con la máscara. Para definir cuál es el color de resina de la escala VITA que se asignará a cada uno de los píxeles, se hace un agrupamiento de los vectores V_x resultantes. Para esto se utiliza el método de las *k-medias* o algoritmo de Lloyd (Lloyd, 1982) debido a que es uno de los métodos de agrupamiento no supervisados más sencillos de utilizar y que ha demostrado ser muy útil en diferentes aplicaciones de visión computacional (ej., (Deng y cols., 2009; Lee, Ho, Yang, y Kriegman, 2003; Nowozin, Tsuda, Uno, Kudo, y Bakir, 2007)). El resultado de este procedimiento es un índice para cada uno de los vectores V_x , el cual corresponde al grupo en donde se determinó la pertenencia de dicho vector. Para cada uno de los centroides $C_y \forall y \in \{1, 2, \dots, k\}$, calculados mediante el algoritmo de *k-medias*, se determina cuál de los vectores que describen los colores de la escala VITA D_i es más cercano por medio del cálculo de la distancia Euclidiana:

$$d(C_y, D_i) = \sqrt{\sum_{z=1}^{n \times 3} (C_y(z) - D_i(z))^2}.$$

Ecuación 1.

Finalmente, se genera una imagen en donde a cada uno de los píxeles que cumplen con la condición $H(i, j) = 1$, se le asigna una etiqueta correspondiente a las opciones de la escala VITA, de acuerdo con el resultado de la clasificación. La figura 6 describe el flujo de este proceso de manera visual.

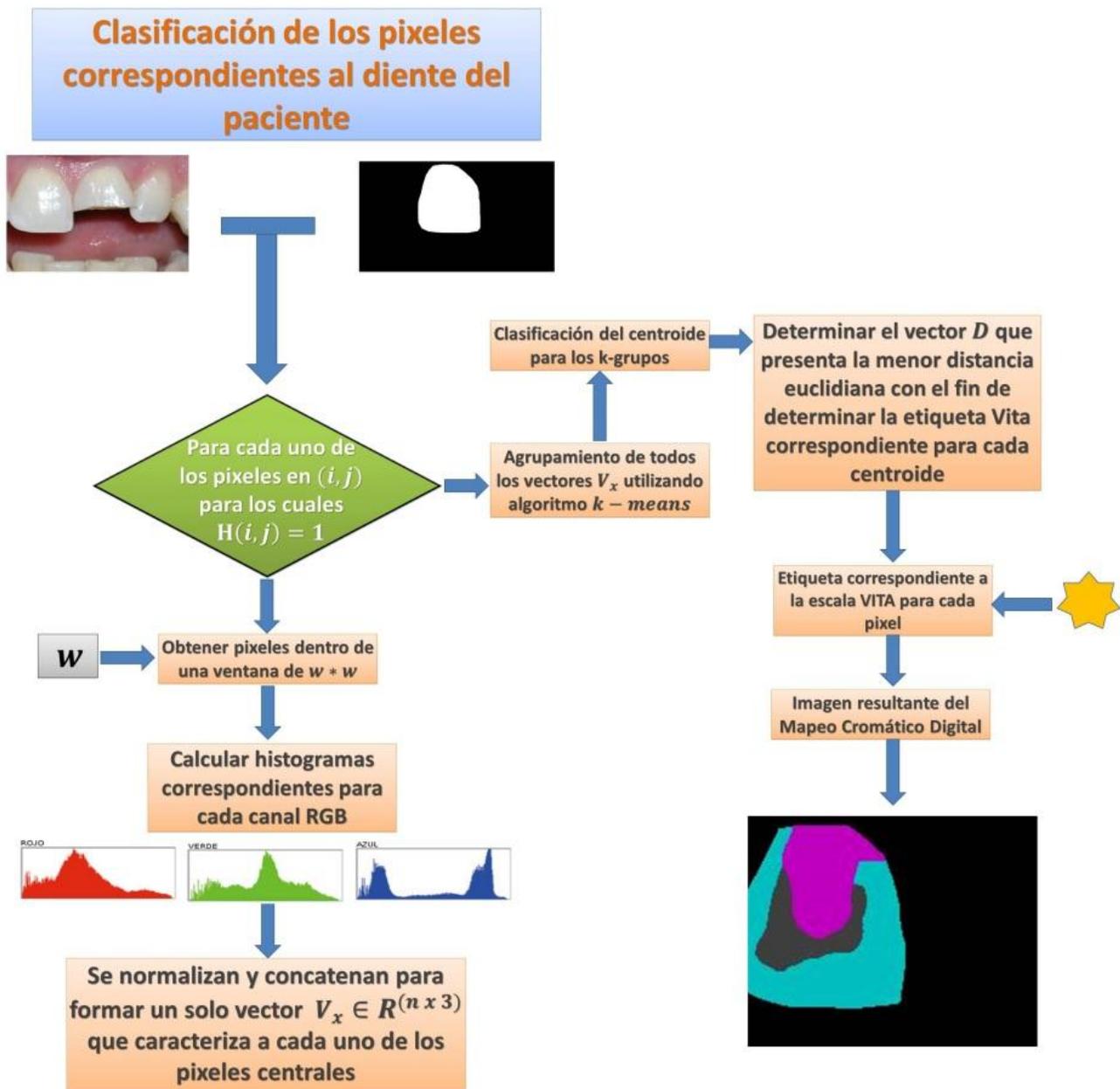


Figura 6.

Descripción del proceso de clasificación de pixeles de acuerdo a escala VITA.

3. Resultados y discusión

Para probar el funcionamiento del método propuesto, y evaluar el impacto de las variables en el desempeño de éste, se implementó el método utilizando la plataforma Matlab. Se llevaron a cabo pruebas de mapeo cromático dental utilizando diferentes tamaños de ventana $w = \{3, 5, 7, 9\}$ y diferente número de grupos $k = \{2, 3, 4, 5, 6\}$. En el método propuesto, el valor de w determina el número de píxeles vecinos que son considerados para llevar a cabo la clasificación de cada píxel del diente, mientras que el valor de k corresponde al número de resinas diferentes que se desea emplear para la reconstrucción.

La figura 7 muestra los resultados del mapeo cromático utilizando diferentes tamaños de ventana (w) y un valor de $k = 2$, lo que equivale a la utilización de dos colores de resina de la escala VITA. Podemos observar que conforme se incrementa el tamaño de ventana, las regiones correspondientes a cada color de resina a utilizar, son más homogéneas y están mejor separadas.

La figura 8 muestra los resultados utilizando un valor de $k = 3$. En esta figura podemos observar que el comportamiento en cuanto a la homogeneidad y separación de las regiones es similar al del caso anterior. Sin embargo, cabe hacer notar que a medida que el tamaño de w es menor, algunas regiones pequeñas tienen asignado un color de resina que va cambiando conforme se incrementa dicho valor, esto se debe a que cuando se utiliza un valor pequeño para w , cuando el valor de w es mayor. Esto ocasiona que las distribuciones de los niveles de intensidad que caracterizan cada píxel del diente sean distintas, por lo tanto, es probable que se elijan diferentes colores de resina.

Cuando se utiliza un valor menor para w , se consideran menos vecinos para el cálculo de los histogramas, a diferencia de cuando se incrementa dicho valor, lo que genera una diferencia en la distribución de los niveles de intensidad, que resulta más aproximado a una de las opciones de resina en comparación de cuando se utilizan valores de w más grandes.

La figuras 9 y 10 muestran los resultados utilizando valores de $k = 4$ y $k = 5$ respectivamente. Podemos observar que el comportamiento del método, en cuanto a la homogeneidad y separación de las regiones, se mantiene. Sin embargo para el caso donde $w = 9$, se observan cambios de resina seleccionada. Esto se puede explicar de la misma manera que el caso anterior.

La figura 11 muestra los resultados utilizando un valor de $k = 6$. En este experimento se observa lo complejo que sería realizar la reconstrucción utilizando 6 colores de resina para un tamaño de ventana $w = 3$, y como dicha complejidad disminuye cuando se incrementa el tamaño de la ventana w .



Figura 7.

Ejemplo de resultado del método propuesto para mapeo cromático utilizando $k = 2$ con tamaños de ventana (a) $w = 3$, (b) $w = 5$, (c) $w = 7$ y (d) $w = 9$.



Figura 8.

Ejemplo de resultado del método propuesto para mapeo cromático utilizando $k = 3$ con tamaños de ventana (a) $w = 3$, (b) $w = 5$, (c) $w = 7$ y (d) $w = 9$.

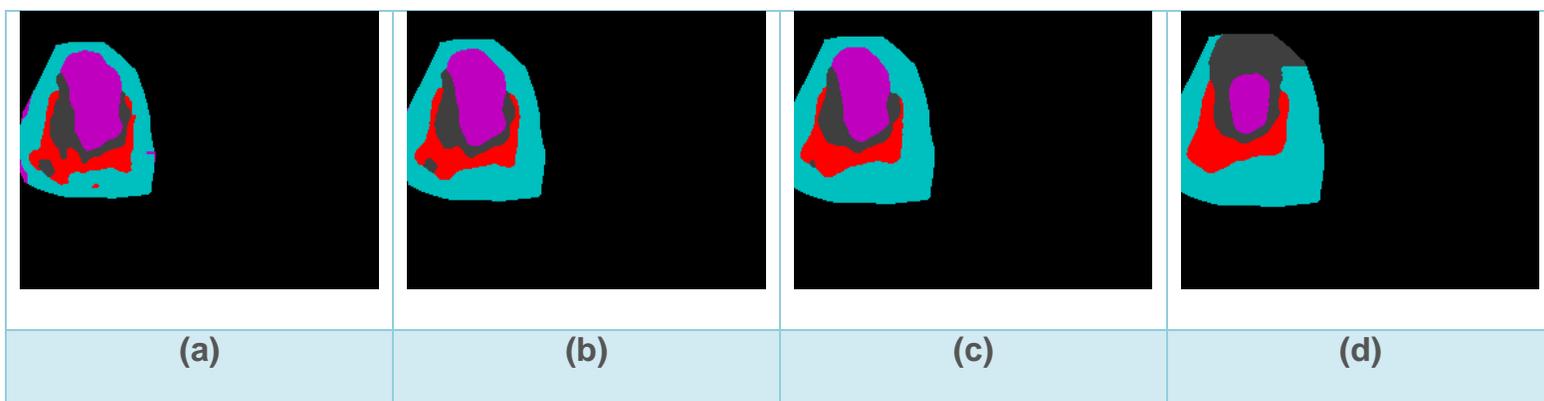


Figura 9.

Ejemplo de resultado del método propuesto para mapeo cromático utilizando $k = 4$ con tamaños de ventana (a) $w = 3$, (b) $w = 5$, (c) $w = 7$ y (d) $w = 9$.

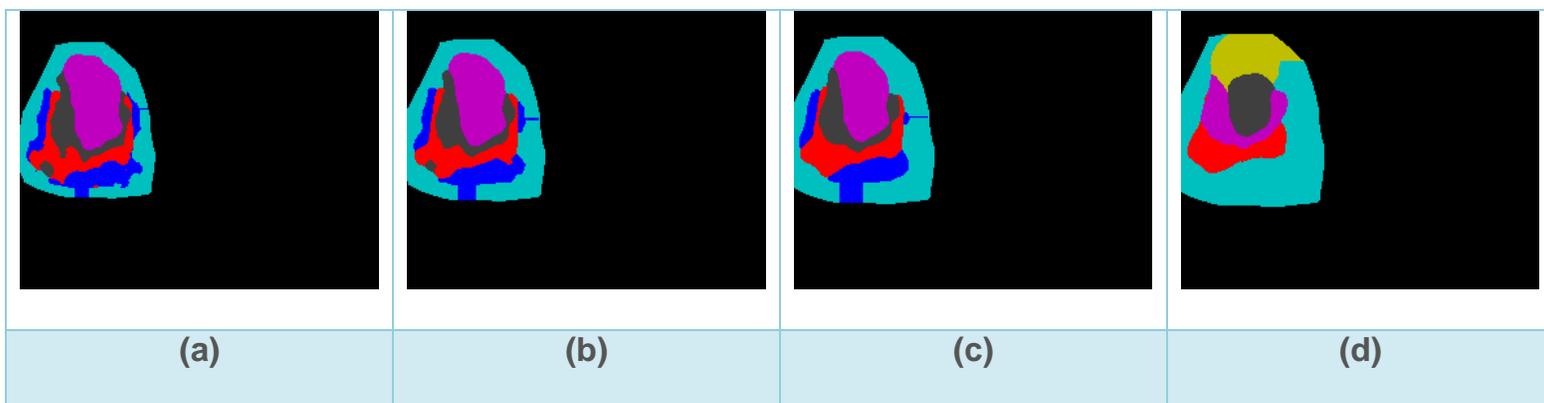


Figura 10.

Ejemplo de resultado del método propuesto para mapeo cromático utilizando $k = 5$ con tamaños de ventana (a) $w = 3$, (b) $w = 5$, (c) $w = 7$ y (d) $w = 9$.

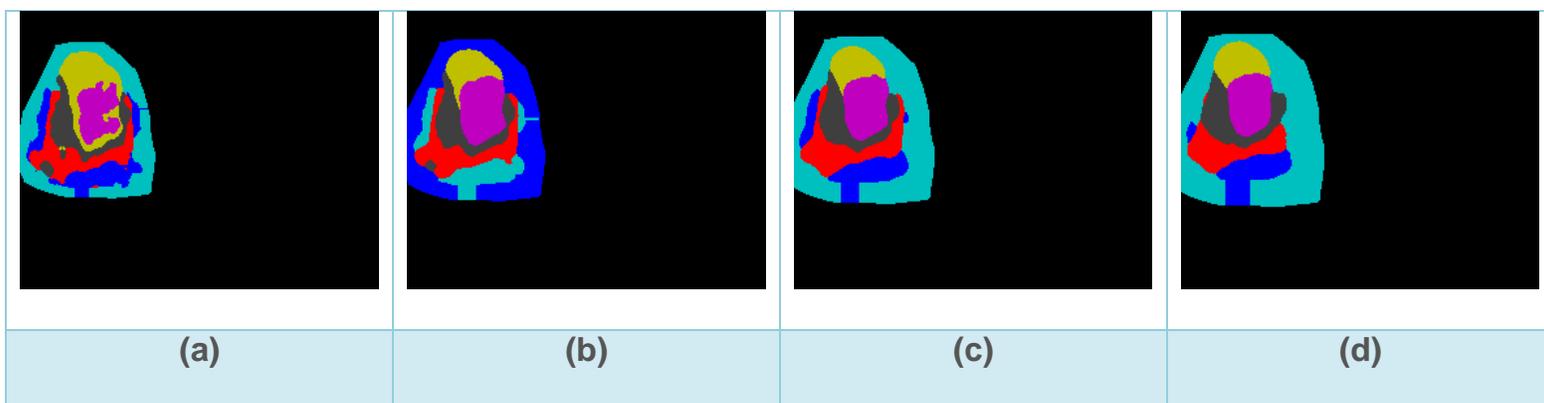


Figura 11.

Ejemplo de resultado del método propuesto para mapeo cromático utilizando $k = 6$ con tamaños de ventana (a) $w = 3$, (b) $w = 5$, (c) $w = 7$ y (d) $w = 9$.

4. Conclusión y trabajo futuro

De los experimentos de la sección anterior podemos concluir que, a medida que incrementa el valor de k , mayor es el detalle que se puede lograr en la reconstrucción, sin embargo, esto requiere de un trabajo más elaborado por parte del especialista que la llevará a cabo. También se puede observar una consistencia en el color de resina elegido por nuestro método, utilizando diferentes valores de k . No obstante, las variaciones que se presentan en algunos casos, es debido a que a menor número de k , mayor es el número de píxeles a considerar en una región. Esto ocasiona que se tenga que utilizar un color de resina que sea cercana a todos los píxeles involucrados en dicha región. Conforme aumenta el número de resinas posibles a utilizar, las regiones para las que se debe elegir un color de resina son más pequeñas, y por lo tanto, el color asignado puede variar en comparación al uso de k con menor valor.

Una de las ventajas del método de mapeo cromático propuesto es que no se necesita hacer la sub-división del diente como en el método manual, ya que este algoritmo provee de un mapa más detallado y no tiene límite de regiones. Otra de las ventajas importantes de nuestro método es que disminuye el grado de subjetividad de los mapeos cromáticos manuales, debido a que los resultados dependen de una comparación cuantitativa precisa de la distribución de intensidad para cada uno de los canales de color, mediante el análisis de la escala VITA y del diente en cuestión.

Las limitaciones principales del método propuesto tienen que ver con las condiciones de iluminación, las cuales pueden ser un factor importante que determine la calidad de los resultados. Para medir este impacto es necesario hacer una comparación contra la clasificación efectuada por uno o más expertos.

El trabajo futuro incluye la validación del método propuesto, mediante la comparación de mapeos cromáticos dentales realizados por especialistas y por equipo comercial, así como explorar otros métodos de clasificación y agrupamiento. Por otro lado, se pretende analizar el desempeño del método propuesto utilizando diferentes escalas de color (ej. la escala Trubyte Bioform) y explorar distintas formas de caracterizar los colores en las diferentes escalas.

Es importante mencionar que para la generación de estos resultados se utilizó una máscara H generada manualmente. El cómputo automático de la segmentación del diente a utilizar es también trabajo futuro.

Una vez que el método propuesto sea semi o totalmente automático, se pretende desarrollar una herramienta de software que utilice dicho método, permitiendo reducir la subjetividad, en la selección de los materiales a utilizar, para la reconstrucción de las piezas dentales.

Agradecimientos

Agradecemos a Nathali Ruvalcaba Gil por su aporte intelectual en el planteamiento del problema. S. Torres, I. Román y G. Mendizabal agradecen a CONACYT y PRODEP por el apoyo otorgado.

Referencias

Cortez, J. I., Caldera, J. M., Ramírez, A., Liliانا, C., y González, M. F. (2005). 3 d reconstruction of dental pieces with data acquisition by the system apsed. En Proceedings of the 9th wseas international conference on computers (p. 120).

Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., y Fei-Fei, L. (2009). Imagenet: A large-scale hierarchical image database. En Computer vision and pattern recognition, 2009. cvpr 2009. ieee conference on (pp. 248–255).

García, E. J. (2011). Color y características ópticas para restauraciones estéticas de dientes anteriores. *Acta Odontológica Venezolana*, 49 (4).

Joiner, A. (2004). Tooth colour: a review of the literature. *Journal of Dentistry*, 32, 3–12.

Lee, K.-C., Ho, J., Yang, M.-H., y Kriegman, D. (2003). Video-based face recognition using probabilistic appearance manifolds. En *Computer vision and pattern recognition, 2003. proceedings. 2003 IEEE computer society conference on* (Vol. 1, pp. 1–313).

Lloyd, S. P. (1982). Least squares quantization in pcm. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 28 (2), 129–137.

Moscardó, A. P., y Alemany, I. C. (2006). Odontología estética: Apreciación cromática en la clínica y el laboratorio. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 11, E363–8.

Nowozin, S., Tsuda, K., Uno, T., Kudo, T., y Bakir, G. (2007). Weighted substructure mining for image analysis. En *Computer vision and pattern recognition, 2007. cvpr'07. IEEE conference on* (pp. 1–8).

Núñez Díaz, P., y del Río Highsmith, J. (2007). Estudio comparativo entre sistemas de medición del color en odontología (espectrofotometría). *Gaceta Dental: Industria y Profesiones*(179), 164–175.

Pajares Martinsanz, G., y De la Cruz García, J. M. (2001). *Visión por computador, imágenes digitales y aplicaciones*. España: Alfaomega.

Propdental. (2105). Toma de color en prótesis dental. <https://www.propdental.es/blog/estetica-dental/toma-de-color-en-protesis-dental/>. ([Online; accesado 10-July-2015])

Vicario, C. U. (1999). *Neurobiología de la visión* (Vol. 51). Univ. Politèc. de Catalunya.

Notas biográficas:

Josué González Sandoval Recibió el grado de Técnico en Informática en 2011 en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 32 en Yahualica, Jalisco. Actualmente es estudiante de séptimo semestre en la licenciatura en Ingeniería Biomédica en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Su área de investigación es el análisis de imágenes médicas mediante algoritmos de visión computacional.

Montserrat Stephania Martínez Alvarez Obtuvo el grado de bachiller en el Bachillerato General por Competencias con área optativa especializante en Instalaciones Eléctricas Residenciales por parte de la Universidad de Guadalajara. Actualmente estudia la licenciatura en Ingeniería Biomédica en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Realiza su servicio social dentro del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE). Sus áreas de interés es el diseño electrónico de dispositivos así como interfaces de potencia.

Patricia Alejandra Brand Rubalcava Licenciada en Psicología Humanista por la Universidad La Concordia en Aliat Universidades. Actualmente es estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías en la Universidad de Guadalajara y prestadora de Servicio Social en el Apoyo a proyectos de Investigación en Biología Teórica.

Sulema Torres-Ramos Licenciada en Informática por la Universidad Autónoma de Sinaloa (2004). Maestra en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional (2006). Doctora en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional (2010). Actualmente es Profesora Investigadora del Departamento de Ciencias Computacionales de la Universidad de Guadalajara y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel C). Líneas de Investigación: Lingüística Computacional, Procesamiento Automático de Textos, Machine Learning.

Israel Román-Godínez Ingeniero en Sistemas por el Instituto Tecnológico de Zacatepec (2004). Maestro en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional (2007). Doctor en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional (2011). Actualmente es Profesor Investigador Titular del Departamento de Ciencias Computacionales de la Universidad de Guadalajara. Líneas de Investigación: Machine Learning, Reconocimiento de Patrones, Bioinformática.

E. Gerardo Mendizabal-Ruiz Recibió el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en 2003 por el ITESO. En 2007 recibió el grado de Maestro en Computación y Matemáticas Industriales por el Centro de Investigación en Matemáticas y en 2012 obtuvo el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en Computación por la Universidad de Houston, TX. Actualmente es Profesor Investigador Titular del Departamento de Ciencias Computacionales de la Universidad de Guadalajara y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel C). Dentro de sus proyectos de investigación se encuentran temas relacionados con la visión computacional, realidad virtual

y aumentada, el análisis de secuencias de DNA, la generación de metabolismos artificiales y música evolutiva.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.