

# Una Experiencia Colaborativa Internacional para la mejora curricular en Ingeniería del Software

Marco Aedo López, Ing.<sup>1</sup>, Elizabeth Vidal Duarte, Mg.<sup>1</sup>, Eveling Castro Gutiérrez, Mg.<sup>1</sup>, Alfredo Paz Valderrama, Ing.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de San Agustín, Perú, maedol@unsa.edu.pe, evidald@unsa.edu.pe, ecastro@unsa.edu.pe, apazv@unsa.edu.pe

*Abstract– El desarrollo de la industria del software se considera desde una perspectiva global, es por eso que la elaboración de una currícula orientada a Ingeniería del Software debe tomar en cuenta recomendaciones y criterios internacionales. Nuestro trabajo muestra la experiencia colaborativa internacional para la mejora curricular en la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú. La currícula utilizó las recomendaciones de la ACM para Programas de Ingeniería del Software (SE2004). Se tomaron en cuenta los criterios de Acreditación de ABET, opiniones de la industria nacional e internacional y experiencias de otros programas de Ingeniería del Software ya acreditados. Esta nueva currícula actualmente se encuentra en su tercer año de funcionamiento. Destacamos los aportes recibidos y las dificultades encontradas.*

*Mejora Curricular, ABET, Ingeniería del Software, SE2004, Experiencia Colaborativa.*

## I. INTRODUCCIÓN

La Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas [1] inició su funcionamiento en 1995 y en la actualidad cuenta con 17 promociones. Su concepción inicial estuvo enfocada a abarcar todo lo relacionado al área de Computación, área que en las últimas dos décadas ha tenido un crecimiento exponencial en conocimientos [2]. La currícula anterior se encontraba vigente desde el 2002, tenía 10 años de antigüedad y a lo largo de estos años no hubo procesos de reestructuración o actualización.

Los constantes cambios tecnológicos en el área de computación generan que las organizaciones ahora requieran de profesionales con competencias específicas. El afianzamiento de nuevas especialidades dentro del área de computación define nuevas carreras [2] cuyos cuerpos de conocimiento se encuentran descritos en documentos desarrollados por la ACM (Association for Computing Machinery), que constituyen estándares reconocidos mundialmente.

ACM identifica cinco carreras de computación [2]: Ciencia de la Computación, Ingeniería del Software, Sistemas de Información, Tecnología de la Información e Ingeniería en Computación. Nuestra Escuela Profesional luego de un proceso de análisis de oportunidades, fortalezas, amenazas y

debilidades optó por alinear la currícula a Ingeniería del Software.

La Ingeniería del Software es definida como “la aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable para el desarrollo, operación y mantenimiento de software; esto es, la aplicación de ingeniería al software” [3]. La Ingeniería del Software se diferencia de las otras ingenierías en dos puntos: la naturaleza intangible del software y su operación discreta. Busca integrar los principios matemáticos y de ciencia de la computación con las prácticas de ingeniería desarrolladas para artefactos físicos tangibles [4].

Nuestro trabajo presenta la experiencia de la mejora curricular mediante un trabajo colaborativo internacional con carreras de Ingeniería del Software acreditadas por ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology), expertos de la industria del software entre otros. La propuesta se basó en las recomendaciones de la ACM para programas de Ingeniería del Software (SE2004) y los criterios de ABET. Resaltamos los resultados obtenidos luego de los tres primeros años de funcionamiento.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: la sección 2 describe el cuerpo del conocimiento, especialidades y competencias expuestas en el SE2004. En la sección 3 se presentan las habilidades de ABET y las consideraciones a tener en cuenta en la preparación de una carrera de ingeniería. En la sección 4 presentamos la experiencia de colaboración internacional. En la sección 5 presentamos nuestra propuesta de nueva currícula. En la sección 6 resaltamos los desafíos encontrados y los primeros resultados. Finalmente presentamos las conclusiones.

## II. SE2004

SE2004 [4] es un documento de la ACM que define las recomendaciones para Programas de Ingeniería del Software a nivel de pregrado. En él se definen los conocimientos que deben tener los egresados. También describe recomendaciones pedagógicas, ejemplos de cursos y patrones de currículas. SE2004 define un cuerpo de conocimiento base, áreas de especialización y competencias del egresado.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.078>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

**14<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology:** “Engineering Innovations for Global Sustainability”, 20-22 July 2016, San José, Costa Rica. 1

### A. Cuerpo del Conocimiento

SE2004 presenta diez áreas de conocimiento. El término conocimiento describe una subdisciplina en la Ingeniería del Software. Cada área contiene a su vez unidades, las cuales representan módulos temáticos dentro de cada área. En la Tabla I se presenta dicha división.

TABLA I  
CUERPO DEL CONOCIMIENTO SE2004

Área de Conocimiento/ Unidad de Conocimiento	Título	Horas
<b>CMP</b>	<b>Esenciales de Computación</b>	<b>172</b>
CMP.cf	Fundamentos de Ciencia de Computación	140
CMP.ct	Tecnologías de Construcción	20
CMP.tl	Herramientas de Construcción	4
CMP.fm	Métodos de Construcción Formal	8
<b>FND</b>	<b>Fundamentos de Matemática e Ingeniería</b>	<b>89</b>
FND.mf	Fundamentos de Matemática	56
FND.ef	Fundamentos de Ingeniería para software	23
FND.ec	Economía de Ingeniería para software	10
<b>PRF</b>	<b>Práctica Profesional</b>	<b>35</b>
PRF.psy	Dinámica de Grupo/Psicología	5
PRF.com	Habilidades de Comunicación (Específico a SE)	10
PRF.pr	Profesionalismo	20
<b>MAA</b>	<b>Modelado y Análisis de Software</b>	<b>53</b>
MAA.md	Fundamentos de Modelado	19
MAA.tm	Tipos de modelos	12
MAA.af	Fundamentos de Análisis	6
MAA.rfd	Fundamentos de Requerimientos	3
MAA.er	Elicitación de Requerimientos	4
MAA.rsd	Especificación y Documentación de Requerimientos	6
MAA.rv	Validación de Requerimientos	3
<b>DES</b>	<b>Diseño de Software</b>	<b>45</b>
DES.com	Conceptos de Diseño	3
DES.str	Estrategias de Diseño	6
DES.ar	Diseño Arquitectónico	9
DES.hci	Diseño de Interface Humano – Computador	12
DES.dd	Diseño Detallado	12
DES.ste	Herramientas de Apoyo y Evaluación del Diseño	3
<b>VAV</b>	<b>Verificación y Validación de Software (V&amp;V)</b>	<b>42</b>
VAV.fnd	Terminología y Fundamentos de V&V	5
VAV.rev	Revisiones	6
VAV.tst	Pruebas	21
VAV.hct	Pruebas y Evaluación de Interfaces de Usuario	6
VAR.par	Análisis y Reportes de Problemas	4
<b>EVO</b>	<b>Evolución de Software</b>	<b>10</b>
EVO.pro	Procesos de Evolución	6
EVO.ac	Actividades de Evolución	4
<b>PRO</b>	<b>Proceso de Software</b>	<b>13</b>
PRO.con	Conceptos de Proceso	3
PRO.imp	Implementación de Proceso	10
<b>QUA</b>	<b>Calidad de Software</b>	<b>16</b>
QUA.cc	Conceptos y Cultura de Calidad de Software	2

QUA.std	Estándares de Calidad de Software	2
QUA.pro	Procesos de Calidad de Software	4
QUA.pca	Aseguramiento de Proceso	4
QUA.pda	Aseguramiento de Producto	4
<b>MGT</b>	<b>Gestión de Software</b>	<b>19</b>
MGT.con	Conceptos de Gestión	2
MGT.pp	Planeamiento del Proyecto	6
MGT.per	Personal y Organización del Proyecto	2
MGT.ctl	Control del Proyecto	4
MGT.cm	Gestión de la Configuración del Software	5

Así mismo, SE2004 presenta alternativas de especialización dentro de la Ingeniería del Software. Dependiendo de las fortalezas de la institución, del mercado laboral objetivo y de la especialización de sus profesores se deberán elegir las más apropiadas para la currícula. En la Tabla II se muestran dichas especializaciones.

TABLA II  
ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN SE2004

Referencia	
<b>SAS</b>	<b>Especialidades de Aplicación</b>
<b>SAS.net</b>	<b>Sistemas Centrados en Redes</b>
SAS.net.1	Conocimiento y Habilidades en tecnología Basada en web
SAS.net.2	Profundidad en Networking
SAS.net.3	Profundidad en Seguridad
<b>SAS.inf</b>	<b>Sistemas de Información y Procesamiento de Datos</b>
SAS.inf.1	Profundidad en Bases de Datos
SAS.inf.2	Profundidad en Administración de Negocios
SAS.inf.3	Datawarehousing
<b>SAS.fin</b>	<b>Sistemas Financieros y de E-Commerce</b>
SAS.fin.1	Contabilidad
SAS.fin.2	Finanzas
SAS.fin.3	Profundidad en Seguridad
<b>SAS.sur</b>	<b>Sistemas Tolerantes a Fallos y de Supervivencia</b>
SAS.sur.1	Conocimientos y habilidades con sistemas heterogéneos y Distribuidos
SAS.sur.2	Profundidad en Seguridad
SAS.sur.3	Análisis y Recuperación de Fallos
SAS.sur.4	Detección de Intrusión
<b>SAS.sec</b>	<b>Sistemas de Alta Seguridad</b>
SAS.sec.1	Asuntos de Negocios relacionados a la seguridad
SAS.sec.2	Debilidades y riesgos de Seguridad
SAS.sec.3	Criptografía, criptoanálisis, esteganografía
SAS.sec.4	Profundidad en redes
<b>SAS.sfy</b>	<b>Sistemas Críticos de Seguridad</b>
SAS.sfy.1	Profundidad en métodos formales, pruebas de correctitud
SAS.sfy.2	Conocimiento de Sistemas de Control
SAS.sfy.3	Profundidad en modos de falla, análisis de efectos y análisis de árboles de falla
<b>SAS.emb</b>	<b>Sistemas en tiempo real y Embebidos</b>
SAS.emb.1	Hardware para sistemas embebidos
SAS.emb.2	Lenguajes y Herramientas para desarrollo
SAS.emb.3	Profundidad en asuntos de sincronización
<b>SAS.bio</b>	<b>Sistemas Biomédicos</b>
SAS.bio.1	Biología y Ciencias relacionadas
SAS.bio.2	Conocimiento relacionado a sistemas críticos de seguridad
<b>SAS.sci</b>	<b>Sistemas Científicos</b>
SAS.sci.1	Profundidad en la Ciencia relacionada
SAS.sci.2	Profundidad en Estadística
SAS.sci.3	Visualización y gráficos
<b>SAS.tel</b>	<b>Sistemas de Telecomunicaciones</b>
SAS.tel.1	Profundidad en señales, teoría de información
SAS.tel.2	Protocolos de telefonía y telecomunicaciones

<b>SAS.av</b>	<b>Sistemas Aeronáuticos y Vehiculares</b>
SAS.av.1	Conceptos de Ingeniería Mecánica
SAS.av.2	Conocimiento relacionado a sistemas críticos de seguridad
SAS.av.3	Conocimiento relacionado a sistemas embebidos y en tiempo real
<b>SAS.ind</b>	<b>Sistemas de Control de Procesos Industriales</b>
SAS.ind.1	Sistemas de Control
SAS.ind.2	Ingeniería Industrial y otras áreas de Ingeniería
SAS.ind.3	Conocimiento relacionado a sistemas embebidos y en tiempo real
<b>SAS.mm</b>	<b>Multimedia, Juegos y Sistemas de Entretenimiento</b>
SAS.mm.1	Visualización, Hápticos y Gráficos
SAS.mm.2	Profundidad en Diseño de Interfaces Humano – Computador
SAS.mm.3	Profundidad en redes
<b>SAS.mob</b>	<b>Sistemas para Plataformas Móviles</b>
SAS.mob.1	Tecnología Inalámbrica
SAS.mob.2	Profundidad en Interfaces Humano – Computador para Plataformas Móviles
SAS.mob.3	Conocimiento relacionado a Sistemas Embebidos y de Tiempo Real
SAS.mob.4	Conocimiento relacionado a sistemas de Telecomunicaciones
<b>SAS.ab</b>	<b>Sistemas basado en Agentes</b>
SAS.ab.1	Aprendizaje de Máquinas
SAS.ab.2	Lógica Difusa
SAS.ab.3	Ingeniería de Conocimiento

### B. Competencias del Egresado (Outcomes)

SE2004 identifica siete competencias que el egresado de una carrera de Ingeniería del Software debe poseer:

1. Mostrar dominio de los conocimientos de ingeniería de software y habilidades, y las cuestiones profesionales necesarios para comenzar la práctica como ingeniero de software.
2. El trabajo como individuo y como parte de un equipo para desarrollar y entregar los artefactos de software de calidad
3. Conciliar los objetivos contrapuestos de los proyectos, la búsqueda de compromisos aceptables dentro de las limitaciones de costo, tiempo, conocimiento, sistemas existentes, y las organizaciones.
4. Diseñar soluciones apropiadas en uno o más dominios de aplicación utilizando los enfoques de ingeniería de software que integran las preocupaciones éticas, sociales, jurídicas y económicas.
5. Demostrar una comprensión y aplicación de las teorías actuales, los modelos y técnicas que proporcionar una base para la identificación y análisis de problemas, diseño de software, desarrollo, aplicación, verificación y documentación.
6. Demostrar una comprensión y aprecio por la importancia de la negociación efectiva, a partir hábitos de trabajo,

liderazgo y buena comunicación con las partes interesadas en un ambiente típico de desarrollo de software

7. Aprender nuevos modelos, técnicas y tecnologías que van surgiendo y apreciar la necesidad del desarrollo profesional continuo

### III. ABET

ABET [5] es reconocida como una organización dedicada a la acreditación de programas de educación universitaria en ingeniería. La acreditación busca asegurar que la institución satisface los criterios de calidad establecidos.

#### A. Habilidades - Criterio 3

El Criterio 3 de ABET presenta once habilidades que los estudiantes de ingeniería deben poseer para cuando terminen sus estudios (Tabla III).

TABLA III  
HABILIDADES – CRITERIO 3

(a) Habilidad para aplicar conocimientos de matemática, ciencia e ingeniería
(b) Habilidad para diseñar y llevar a cabo experimentos así como para analizar e interpretar datos
(c) Habilidad para diseñar un sistema, componente, o proceso para satisfacer necesidades deseadas dentro de restricciones realistas (económicas, ambientales, sociales, políticas, éticas, de salubridad, seguridad, de manufactura y sostenibilidad)
(d) Habilidad para funcionar en equipos multi-disciplinarios
(e) Habilidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería
(f) Entendimiento de responsabilidades profesionales y éticas
(g) Habilidad para comunicarse de manera efectiva
(h) La educación general necesaria para entender el impacto de las soluciones de ingeniería en los contextos global, económico, ambiental y social
(i) Reconocimiento de la necesidad de, y la habilidad para comprometerse al aprendizaje de por vida
(j) Conocimiento de asuntos contemporáneos
(k) Habilidad para usar las técnicas, habilidades, y herramientas modernas de ingeniería necesarias para la práctica de la ingeniería

## B. Consideraciones de Currícula

ABET presenta consideraciones generales a todas las carreras de ingeniería y consideraciones específicas a la Ingeniería del Software.

### Consideraciones Generales

La institución debe asegurarse de que el programa de estudios dedica una atención adecuada y el tiempo para cada componente de acuerdo con los resultados y los objetivos del programa y la institución. El componente profesional debe incluir:

(i) Un año de una combinación de las matemáticas a nivel universitario y de las ciencias básicas, algunas con experiencia experimental adecuada a la disciplina.

(ii) Un año y medio de ciencias de la ingeniería y de diseño de ingeniería para el campo de estudio específico. Las ciencias de la ingeniería tienen sus raíces en las matemáticas y las ciencias básicas, para llevar a un mayor conocimiento hacia la aplicación creativa. Diseño de ingeniería es el proceso de elaboración de un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas.

(iii) Un componente de estudios generales que complementa el contenido técnico del plan de estudios y es coherente con los objetivos del programa y la institución. Los estudiantes deben estar preparados para la práctica de la ingeniería a través de un programa de estudios que culminaron en una gran experiencia en el diseño basado en el conocimiento y las habilidades adquiridas en el trabajo del curso anterior y la incorporación de las normas adecuadas de ingeniería y múltiples limitaciones realistas.

### Consideraciones específicas a Ingeniería del Software

El plan de estudios debe proporcionar tanto la amplitud y profundidad en toda la gama de temas de ingeniería y ciencias de la computación que implica el título y los objetivos del programa.

El plan de estudios debe preparar a los graduados para analizar, diseñar, verificar, validar, implementar, aplicar y mantener sistemas de software, para aplicar adecuadamente las matemáticas discretas, probabilidad y estadística, y los temas relevantes en ciencias de la computación y disciplinas de apoyo a los sistemas de software complejos, para trabajar en uno o más dominios de aplicación importantes, y para gestionar el desarrollo de sistemas de software.

## IV. DESARROLLO CURRICULAR COLABORATIVO

El desarrollo de la industria del software hoy en día se considera desde una perspectiva global es por eso que no sólo

se tomaron en cuenta estándares como el SE2004 y los criterios de ABET, sino además se consultaron expertos internacionales relacionados a la Ingeniería del Software: personas de Industria, Universidades con Programas de Ingeniería del Software acreditadas por ABET, académicos de otras carreras como Ciencias de la Computación y Sistemas de Información y académicos relacionados al SE2004.

### A. Metodología

El proceso de colaboración internacional se realizó en dos grandes bloques: con Universidades y, con Expertos de Industria e Instituciones.

#### Universidades

1. Identificación de Carreras de Ingeniería del Software Acreditadas por ABET.
2. Contactar a académicos de dichas carreras para solicitarles información sobre la realización de su currícula: que recomendaciones internacionales siguieron (ACM o IEEE), proceso que siguieron, dificultades encontradas.
3. Solicitar información sobre determinados cursos, especialmente aquellos que no se tenían en la malla anterior.
4. Solicitarles la revisión de la nueva currícula propuesta para obtener su retroalimentación.
5. Identificación de Carreras de Ciencias de la Computación y de Sistemas de Información Acreditadas por ABET
6. Contactar académicos de dichas carreras para solicitarles información sobre sus mallas curriculares

#### Expertos de la Industria e Instituciones

7. Consultar sobre las habilidades técnicas que requieren los egresados para trabajar en la industria.
8. Consultar sobre las habilidades blandas que requieren los egresados para trabajar en la industria.
9. Identificar los tipos de proyectos que actualmente se realizan en la industria del software
10. Consultar sobre los cambios entre el SE2004 y el SE2014

### B. Expertos Consultados

La Tabla IV presenta el listado de personas y sus respectivas instituciones con las que trabajamos para realizar la mejora curricular.

TABLA IV  
EXPERTOS CONSULTADOS

1	Dr. Teo Hock Hai	National University of Singapore – Information System Department
2	Dr. Chin Wei Ngan	National University of Singapore – Computer Science Department
3	Dr. Klaus Havelund	NASA’s Jet Propulsion Laboratory
4	Dr. Timothy Lethbridge	Pedagogy Focus Group Co-Chair SE2004 – University of Ottawa
5	Dr. Mark A. Ardis	Chair of the SE 2004 Review Task Force
6	Dra. Ann Sobet	Knowledge Area Chair SE2004 - Miami University
7	Dr. Samik Basu	Iowa State University - Director of the School of Software Engineering Program
8	Dr. David Fernández Baca	Iowa State University - Department of Computer Science
9	Dr. David Weiss	Iowa State University – Department of Computer Science
10	Dr. Frank Tsui	Southern Polytechnic State University - of School of Computing and Software Engineering - Atlanta
11	Dr. Venu Dasigi	Southern Polytechnic State University - of School of Computing and Software Engineering - Atlanta
12	Dr. Hhan Reichgelt	Southern Polytechnic State University - Dean of School of Computing and Software Engineering - Atlanta
13	Dr. Jeffrey Chastine	Southern Polytechnic State University - School of Computing and Software Engineering- Atlanta
14	Dr. Zhiming Liu	Engineering, Birmingham City University - Professor of Software Engineering, Head of Centre for Software, United Kingdom
15	Dr. Volker Stolz	Oslo University – Department of Informatiks, Noruega
16	Dr. Yadran Eterovik	Pontificia Universidad Católica de Chile - Director del Departamento de Ciencia de la Computación, Escuela de Ingeniería
17	Dra. Nancy Hitschfeld	Universidad de Chile - Departamento de Ciencias de la Computación
18	Dr. Gerardo Shneider	Universidad de Gutemburgo –Software Engineering and Management, Suecia
19	Dra. Alejandra Cecich	Universidad del Comahue - Facultad de Informática, Argentina
20	Msc. Larry Booth	Clayton State University – Atlanta
21	Dra. Rosa Alarcón	Pontificia Universidad Católica de Chile

La participación de los expertos se dio antes, durante y después del proceso de mejora curricular. De ellos obtuvimos valiosos consejos sobre el proceso de desarrollo de una nueva currícula, puntos de vista sobre el porqué era válido optar por Ingeniería del Software, retroalimentación sobre la propuesta de currícula desarrollada, asesoría en la elaboración de cursos de especialidad, la relevancia sobre las conversaciones continuas con la industria entre otras cosas. A continuación presentamos algunos de los aportes recibidos.

### **Iowa State University**

Iowa State University tiene la Carrera de Ingeniería del Software [6], acreditada actualmente por ABET. Su director el Dr. Samik Basu [7] nos refirió sus experiencias. *“Nuestra guía principal fue el SE2004. Uno de los problemas con los que nos encontramos es la gran cantidad de tópicos que SE2004 menciona. Hemos identificado algunos aspectos claves de Ingeniería del Software que pensamos se alinean mejor con los requerimientos de la industria y nuestras propias fortalezas, y nuestra currícula ha sido preparado basado en ello. Adicionalmente hemos recibido retroalimentación de nuestro Consejo de Asesoría Externo constituido por miembros de la Industria (Microsoft, Intel, Boeing, etc). La mayoría de estas empresas emplea a nuestros egresados. Además, para identificar tópicos para la currícula de Ingeniería de Software ustedes deben considerar los criterios de ABET desde el inicio.”*

El analizar los criterios de acreditación de ABET desde el inicio nos permitió tener una visión clara sobre las competencias a considerar para el nuevo perfil del estudiante y reflejarlo en la currícula. Así mismo se programaron reuniones con empresas nacionales, internacionales y transnacionales ligadas al desarrollo de software para conocer la demanda laboral y sus expectativas.

### **Laboratorio de Propulsiones de Jet – NASA**

El Dr. Klaus Havelund [8] nos proporcionó su punto de vista sobre la importancia de tener una currícula que se oriente a Ingeniería del Software. *“Desde un punto de vista práctico que más hay además de Ingeniería del Software, esto es lo que las personas hacen: construyen sistemas de software. El software es un artefacto que puedes construir sin importar en donde te encuentres en el mundo. No necesitan infraestructura cara. Solo necesitan gente inteligente. Puede ser una oportunidad para tu país.”*

Así mismo el Dr. Havelund resaltó *“Una cosa que he concluido de mi propia experiencia: Las matemáticas son importantes, porque entrenan tu cerebro para pensar de forma abstracta y no tenerle miedo a la complejidad. Los algoritmos son importantes, de manera que uno puede pensar en soluciones de programación inteligentes a problemas sofisticados. La programación es importante de manera que uno puede realizar su propio trabajo. Y finalmente, escribir es importante, de manera que uno puede comunicarse”*

Las opiniones del Dr. Havelund nos ayudaron a comprender la importancia y lo estratégico de alinear la currícula a Ingeniería del Software y dar la debida importancia al desarrollo de habilidades blandas.

### **Dr. Timothy Lethbridge – Chair SE2004**

El proceso de mejora curricular finalizó en el año 2012, pero era conocido que estaba por publicarse el SE2014 [9]. Se realizaron conversaciones con el Dr. Lethbridge [10] para conocer los cambios y el impacto que tendría el SE2014. Según lo conversado y luego validado el SE2014 tendría básicamente el mismo contenido, sólo se habían incluido recomendaciones adicionales para el tema de modelos de procesos de ciclos de vida alternativos (ágiles) y la visibilidad en requerimientos de software y seguridad. Dichas recomendaciones fueron incluidas en nuestra propuesta para alinearnos a la nueva versión (SE2014) que no estaba aún publicada oficialmente.

El Dr. Lethbridge nos refirió que de acuerdo a investigaciones que realiza mostró que los tópicos base de la Ingeniería del Software (diseño, requerimientos, arquitectura, interfaz de usuario, profesionalismo, análisis, gestión de proyectos, testing, etc), resultan ser en donde se encuentra el principal “gap” entre la academia y la industria” [ 22] [23].

### **National University of Singapore**

Las conversaciones con la Universidad Nacional de Singapore se dieron con los directores de las carreras de Ciencias de la Computación [11] y Tecnologías de Información [12]. Las conversaciones y el material que nos facilitaron nos permitió comprender mejor las diferencias con la Ingeniería del Software y el cuerpo de conocimiento común entre estas tres carreras.

### **Southern Polytechnic State University (SPSU)**

SPSU, recientemente convertida en Kennesaw State University [24] nos orientó en la realización del mapeo entre los cursos propuestos y las habilidades de ABET. Uno de los consejos más valiosos que recibimos fue que un curso no debería mapear más de tres habilidades.

SPSU nos ayudó a formular el contenido de varios de los cursos centrales de Ingeniería del Software y de las líneas de especialización. Así mismo brindó la primera capacitación a nuestros profesores en Abril del 2014 en el tema de Desarrollo Móviles.

### **Dr. Mark A. Ardis - Chair of the SE 2004 Review Task Force**

La misma información dada por el Dr. Lethbridge fue corroborada por el Dr. Ardis. *“La nueva versión del SE2004 no variará significativamente de la versión actual. Los principales cambios están dada en la inclusión de más material en seguridad y en métodos modernos de desarrollo tales como los métodos ágiles. Estos cambios ayudarán a*

*mantener los lineamientos consistentes con la evolución del SWEBOOK [26] que actualmente ha realizado los mismos cambios”.*

Los tópicos de seguridad a los que se nos refirió fueron los mismos del proyecto “Software Assurance Curriculum Project” [25]. Dicha recomendación fue considerada para la elaboración de los nuevos cursos.

### **C. Gestión de la Información**

Con la información recibida:

- Se validaron contenidos de los cursos de los primeros seis semestres.
- Se completaron contenidos de cursos de especialidad, como por ejemplo: Interacción Humano Computador, Diseño y Arquitectura de Software y Aspectos Formales de Especificación y Verificación y Plataformas Emergentes
- Se incluyeron cursos que inicialmente no habían sido considerados como por ejemplo: Construcción de Software, Redacción de Artículos e Informes de Investigación y Sistemas de Seguridad Crítica
- Se construyó la matriz de Mapeo de las habilidades de ABET con cada uno de los cursos (Tabla VIII)
- Se validaron las habilidades descritas por los expertos de la industria con las habilidades de ABET.
- Se identificar los tópicos a considerar de acuerdo al SE2014: metodologías ágiles y seguridad
- Se consideró el análisis y los requerimientos de la industria local mediante reuniones con representantes de empresas de diferentes sectores: desarrollo de software, tecnología, mineras y sector público. Se obtuvo información sobre el tipo de proyectos desarrollados y sobre las habilidades que consideraban importantes.
- Se consideraron los requerimientos de una empresa transnacional: Tata Consultancy Services (TCS) [13] el conglomerado industrial más grande de la India destaca que el egresado debe realizar análisis y plasmarlo en código, desarrollar aplicaciones, pruebas, desarrollo de software a gran escala, entender el proceso de la ingeniería del software para asegurar la calidad y que pueda trabajar en equipos en proyectos grandes.
- Se consideraron los requerimientos de una empresa internacional: Consistent - Consulting and Enterprise Integrations S.A. de C.V [14]. Esta empresa mexicana contrata a personas en todo Sudamérica. Para poder trabajar en esta empresa es necesario: la habilidad de poder resolver problemas, trabajar en equipo, iniciativa y proactividad, pre disponibilidad de aprender nuevas tecnologías.

## V. LA PROPUESTA

Tomando como base el SE2004, los criterios de ABET, las recomendaciones de los expertos y el análisis del mercado laboral se elaboraron el perfil del estudiante, las competencias a desarrollar y la propuesta curricular. Adicionalmente se elaboró una matriz de mapeo entre los cursos y los criterios de ABET.

### A. El Perfil

El egresado de Ingeniería de Sistemas será capaz de desarrollar y mantener todo tipo de sistemas de software de modo que sean confiables, eficientes y que satisfagan todos los requerimientos de los usuarios. Los egresados podrán integrar los principios de la matemática y de las ciencias de la computación, con las prácticas de ingeniería para la construcción de artefactos de software de calidad. Aprenderán a crear software genuinamente útil y usable, valorando las necesidades del cliente y desarrollando software usable que corresponda a dichas necesidades. Los egresados de Ingeniería de Sistemas estarán capacitados para analizar, diseñar, implementar, verificar, validar, desplegar, documentar y mantener en proyectos de desarrollo de software, así como gestionar su ciclo de desarrollo, los recursos, riesgo y seguridad. El egresado de Ingeniería de Sistemas tendrá una formación integral que considera la responsabilidad ética y social.

### B. Competencias

Nuestra propuesta curricular considera las once habilidades de ABET (a - k) y adicionalmente se han incluido las habilidades propuesta por la IEEE (l -o). El detalle se presenta en la Tabla V.

### C. Malla Curricular

Tomando en cuenta toda la retroalimentación recibida descrita previamente se obtuvo una nueva currícula. Los cursos han sido agrupados en cuatro categorías: ciencias básicas (amarillo), fundamentos de computación (naranja), ingeniería del software (plomo) y formación profesional (verde), siempre respetando las recomendaciones generales y específicas de ABET. En la Tabla VI se muestra la nueva currícula. Se detallan las horas teóricas (HT), horas prácticas (HP) y horas de laboratorio (HL).

TABLA V  
COMPETENCIAS DEL NUEVO PERFIL PROFESIONAL

(a). Habilidad para aplicar los conocimientos de matemática, ciencia e ingeniería
(b). Habilidad para diseñar y conducir experimentos, así como analizar e interpretar sus resultados.
(c). Habilidad para diseñar un sistema, componente o proceso que satisfaga necesidades dentro de restricciones realistas tales como economía, medio ambiente, sociales, políticas, éticas, salud y de seguridad, manufacturación y sostenibilidad.
(d). La capacidad de trabajar en equipos multidisciplinarios.
(e). La capacidad de identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
(f). La comprensión de la responsabilidad profesional y ética.
(g). La capacidad de comunicarse de manera efectiva.
(h). La educación general necesaria para comprender el impacto de las soluciones de ingeniería y computación, en un contexto global, económico, ambiental y social.
(i). El reconocimiento de la necesidad y la capacidad de participar en el aprendizaje continuo.
(j). Conocimiento de los temas de actualidad.
(k). La capacidad de utilizar las técnicas, habilidades y herramientas modernas de ingeniería y computación necesarias para la práctica de la ingeniería del software.
(l). Habilidad para analizar, diseñar, verificar, validar, implementar, aplicar y mantener sistemas de software apropiadamente
(m). Habilidad para aplicar apropiadamente matemáticas discretas, probabilidad y estadísticas, y tópicos relevantes en ciencias de la computación y disciplinas de apoyo a sistemas de software complejo
(n). Habilidad para trabajar en uno o más dominios de aplicación significativos
(o). Habilidad para gestionar el desarrollo de sistemas de software

TABLA VI  
CURRÍCULA PROPUESTA

Sem	Código	Nombre Curso	HT	HP	HL
I	MA101	Cálculo en una Variable	2	4	
	CS105	Estructuras Discretas I	2	2	
	SE101	Introducción a la Computación	2	2	
	CS101	Fundamentos de Programación I	2	2	4
	NT101	Relaciones Humanas	1	2	
	NT102	Técnicas de Estudio	2	2	
II	MA102	Cálculo en Varias Variables	2	4	
	CS106	Estructuras Discretas II	2	2	
	SE102	Programación Web 1	2		4
	CS102	Fundamentos de Programación II	2	2	4
	NT103	Comunicación Oral y Escrita	2	2	
NT104	Taller de Liderazgo y Colaboración	2			
III	MA103	Algebra Lineal	2	2	2
	MA204	Estadística Matemática, probabilidades y métodos empíricos	2	2	2
	NT106	Talleres de Psicología	2		
	CS111	Estructura de Datos y Algoritmos	2	2	2
	SE201	Programación Web 2	2		4
	NT105	Ética Profesional y Aspectos Legales	2		
	NT107	Redacción de Artículos e Informes de Investigación	2		
IV	CS221	Arquitectura de Computadores	1	2	2
	SE202	Bases de Datos	2	2	2
	MA205	Métodos Numéricos	2	2	2
	SE203	Interacción Humano Computador	1	2	4
	NT108	Enfoque Empresarial	1	4	
	CS212	Análisis y Diseño de Algoritmos	2	2	2
V	CS231	Programación de Sistemas	2		4
	SE301	Introducción a la Ingeniería de Software	3	2	
	MA206	Física Computacional	2		2
	CS203	Teoría de la Computación	2	2	4
	NT109	Innovación y Creatividad	2	2	
	SE302	Organización y Métodos	2	2	2
VI	SE311	Construcción de software	2		4
	CS232	Redes y Comunicación de Datos	2		4
	SE205	Tecnologías de Objetos	2	2	2
	CS222	Sistemas Operativos	2	2	2
	SE303	Fundamentos de Sistemas de Información	3	2	
	NT110	Métodos de Investigación	1	2	
VII	MA207	Investigación de Operaciones	2	2	2
	SE402	Tecnologías de la Información	2	2	2
	CS361	Inteligencia Artificial	2		2
	SE411	Diseño y Arquitectura de Software	2	2	2
	CS321	Sistemas Distribuidos	2	2	2
	SE401	Auditoría de Ingeniería de Software	1	2	
VIII	SE412	Aspectos Formales de Especificación y Verificación	2		2
	SE424	Gestión de Proyectos de software	2		2
	SE421	Calidad de software	2		2
	SE423	Pruebas de software	2		4
		Electivo 1 B	2		2
		Electivo 1 A	2		2
	SE422	Ingeniería de Requerimientos	2	2	2

IX	SE500	Proyecto de Ingeniería de Software I	2		4
		Electivo 2 A	2		2
		Electivo 2 B	2		2
	SE502	Proyecto de Tesis	2	4	
	SE504	Gestión de Emprendimientos de Software I	1	2	
	SE511	Sistemas de Seguridad Crítica	2	2	2
SE521	Mantenimiento, Configuración y Evolución de Software	1	2	2	

X		Electivo 3 A	2		2
		Electivo 3 B	2		2
	SE512	Tópicos Avanzados. en Ingeniería de Software	1	2	2
	SE506	Prácticas Pre profesionales	2	4	
	SE503	Seminario de Tesis	3	2	
	SE505	Gestión de Emprendimientos de Software II	1	2	
	SE501	Proyecto de Ingeniería de Software II	2		4

La nueva currícula ha propuesto tres áreas de especialización de las expuestas en la Tabla VII: (i) Multimedia, Juegos y Sistemas de Entretenimiento, (ii) Sistemas para Plataformas Móviles Y (iii) Sistemas de Información y Procesamiento de Datos. La especialización se da en los tres últimos semestres con el sistema de cursos electivos. Los cursos correspondientes a cada especialización también se muestran en la Tabla VII.

TABLA VII  
LÍNEAS DE ESPECIALIZACIÓN

Línea de Especialización	Cursos	Sem
<b>SAS.mm:</b> Multimedia, Juegos y Sistemas de Entretenimiento	• Introducción al Desarrollo de Software de Entretenimiento	VIII
	• Multimedia y Realidad Virtual	IX
	• Desarrollo de Software para Juegos	X
<b>SAS.mob:</b> Sistemas para Plataformas Móviles	• Introducción al Desarrollo en Nuevas Plataformas	VIII
	• Desarrollo Avanzado en Nuevas Plataformas	IX
	• Plataformas Emergentes	X
<b>SAS.inf:</b> Sistemas de Información y Procesamiento de Datos	• Negocios Electrónicos	VIII
	• Gestión de Sistemas y Tecnologías de Información	IX
	• Inteligencia de Negocios	X



D. Mapeo Cursos-Competencias

Tomando como base la orientación recibida de Southern Politechnic State University elaboramos un matriz que nos permitia identificar el aporte de cada curso a las nuevas competencias (Tabla V). La Tabla VIII muestra una vista parcial de la matriz.

TABLA VIII  
MAPEO CURSOS/COMPETENCIAS

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
I	Cálculo en una Variable	x														
	Estructuras Discretas I	x											x			
	Introducción a la Computación					x		x								
	Fundamentos de Programación I			x							x		x			
	Relaciones Humanas				x			x								
	Técnicas de Estudio								x							
II	Cálculo en Varias Variables	x														
	Estructuras Discretas II	x											x			
	Programación Web 1			x							x	x				
	Fundamentos de Programación II			x		x		x			x					
	Comunicación Oral y Escrita				x			x								
	Taller de Liderazgo y Colaboración				x			x							x	
III	Algebra Lineal	x														
	Estadística Matemática, probabilidades y métodos empíricos		x											x		
	Talleres de Psicología				x			x								
	Estructura de Datos y Algoritmos	x												x		
	Programación Web 2			x		x								x		
	Ética Profesional y Aspectos Legales							x		x					x	
IV	Reducción de Artículos e Informes de Investigación								x		x	x				
	Arquitectura de Computadores	x												x		
	Bases de Datos I			x												x
	Métodos Numéricos	x	x					x						x		
	Interacción Humano Computador			x							x	x				
	Análisis y Diseño de Algoritmos	x												x		
V	Programación de Sistemas			x									x			
	Introducción a la Ingeniería de Software									x		x				x
	Física Computacional	x	x			x										
	Teoría de la Computación	x												x		
	Innovación y Creatividad							x							x	
	Organización y Métodos				x	x										x
VI	Construcción de software			x							x	x				
	Redes y Comunicación de Datos			x		x								x		
	Tecnologías de Objetos			x							x		x			
	Sistemas Operativos	x									x		x			
	Fundamentos de Sistemas de Información								x						x	x
	Métodos de Investigación					x			x	x						

VII	Investigación de Operaciones	x	x												x	
	Tecnologías de la Información									x				x	x	
	Inteligencia Artificial														x	x
	Diseño y Arquitectura de Software													x	x	x
	Sistemas Distribuidos													x		x
	Auditoría de Ingeniería del Software														x	
VIII	Aspectos Formales de Especificación y Verificación	x													x	x
	Gestión de proyectos de software										x	x				x
	Calidad de software														x	x
	Pruebas de Software														x	x
	Electivo 1 B													x		x
	Electivo 1 A													x		x
IX	Ingeniería de Requerimientos									x		x			x	x
	Proyecto de Ingeniería de Software I															x
	Electivo 2 A														x	x
	Electivo 2 B														x	x
	Proyecto de Tesis														x	x
	Gestión de Emprendimiento de Software I														x	x
X	Sistemas de Seguridad Crítica														x	x
	Mantenimiento, Configuración y Evolución de Software														x	x
	Electivo 3A														x	x
	Electivo 3 B														x	x
	Temas Avanzados en Ingeniería del Software														x	x
	Prácticas Pre Profesionales														x	x
XI	Seminario de Tesis															
	Gestión de Emprendimiento de Software II														x	x
XII	Proyecto de Ingeniería del Software II														x	x

VI DESAFÍOS Y RESULTADOS

A. Desafíos

La implementación de una nueva malla implica algunos desafíos. El primero es la especialización de la plana docente en temas específicos de Ingeniería del Software. El segundo desafío es la adaptación de los alumnos que ingresaron con la currícula antigua y que ahora asumen la nueva currícula. Esto lleva a problemas de creditaje y convalidaciones. Como tercer aspecto tenemos el iniciar el proceso de acreditación con ABET. Otro aspecto relevante es mantener contacto con la industria nacional e internacional e integrar a nuestros alumnos en proyectos reales. Finalmente dada la naturaleza dinámica del área debemos mantener la currícula constantemente actualizada y alineada con estándares como el SE2014 [9] propuesta de ACM y acorde al SWEBOK [26].

## B. Resultados

La nueva malla entró en funcionamiento en el 2013, los primeros resultados de la implementación se describen a continuación.

La alineación a estándares internacionales nos ha permitido uniformizar los contenidos de los cursos. Por ejemplo cursos como Fundamentos de Programación I y II, Programación Web I y II, Construcción de Software utilizan material complementario de universidades como Stanford [15], MIT [16], National University of Singapore [17] y Ottawa University [18]. Como parte del curso los alumnos desarrollan ejercicios y exámenes de estas universidades.

A partir de su tercer año de estudios los alumnos participan en proyectos de desarrollo reales como es el caso de la red social para universitarios Uconecta [19].

En los años 2014 y 2015 en el curso de Redacción de Artículos e Informes de Investigación, se realizó una evaluación para medir la percepción de los estudiantes con respecto al proceso de enseñanza-aprendizaje de las habilidades las habilidades (f) (g) (i) de ABET. El primer reporte de los resultados obtenidos se encuentra publicado en [20].

Con respecto a los cursos de programación: Fundamentos de Programación I y Fundamentos de Programación II, en la nueva malla curricular se han doblado la cantidad de horas (de 4 horas a 8 horas). La medición del proceso de enseñanza-aprendizaje se ha realizado mediante un análisis comparativo con la cantidad de alumnos aprobados. Se ha mostrado un 60% de estudiantes aprobados en la nueva malla, con respecto al 40% de los cursos equivalentes en la malla anterior.

El haber alineado la nueva currícula a las recomendaciones internacionales nos ha permitido lograr avances en estos tres primeros años.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la experiencia en la mejora curricular en Ingeniería del Software. El trabajo se basó en las recomendaciones internacionales de la ACM para carreras de pregrado en Ingeniería del Software plasmado en el documento SE2004. También se consideraron como base los criterios de ABET. Se resalta el trabajo colaborativo con expertos de la industria del software y académicos de carreras relacionadas. El utilizar el SE2004 nos permitió tener una línea base ordenada y dar un mejor marco de trabajo para el desarrollo de la carrera. Al tercer año de funcionamiento hemos comprobado que crear software desde segundo año es perfectamente factible, siempre y cuando se sigan los

principios de ingeniería. La formación integral del estudiante es imprescindible, los conocimientos técnicos y científicos se deben complementar con las habilidades sociales para formar un mejor profesional y persona para nuestra sociedad. El desempeño de los docentes mejoró debido a las capacitaciones constantes con materiales de cursos de diferentes universidades y permitió que se logre la integración con otras universidades del mundo, realizando un trabajo colaborativo.

## REFERENCIAS

- [1] Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas. <http://www.episunsa.edu.pe>
- [2] ACM Computing Curricula 2005 – The Overview Report, 2005
- [3] ISO/IEEE, International Organization for Standardization, ISO/IEC/IEEE 24765:2010 - Systems and software engineering – Vocabulary, ISO/IEC/IEEE 24765:2010(E) (2010) 1–418.
- [4] Curriculum guidelines for undergraduate degree programs in Software Engineering 2004. <http://>
- [5] ABET. <http://www.abet.org>
- [6] Software Engineering Program, Iowa State University, <http://www.se.iastate.edu/>
- [7] S. Basu. <http://web.cs.iastate.edu/~sbasu/>
- [8] K. Havelund. Jet Propulsion Laboratory, NASA <http://lars-lab.jpl.nasa.gov/people/havelund.html>
- [9] Curriculum guidelines for undergraduate degree programs in Software Engineering 2014.
- [10] T. Lethbridge, <http://www.site.uottawa.ca/~tcl/>
- [11] Ch. Wei Ngan, School of Computer Science - National University of Singapore <https://www.comp.nus.edu.sg/~chinwn/>
- [12] T. Hock Hai, School of Information Systems – National University of Singapore, <https://www.comp.nus.edu.sg/is/bio/teohh.html>
- [13] Tata Consultancy Services, <http://www.tcs.com/Pages/default.aspx>
- [14] Consistent - Consulting and Enterprise Integrations S.A <http://www.consistent.com.mx/>
- [15] Programming Methodology – Stanford University, <https://see.stanford.edu/Course/CS106A>
- [16] Introduction to Computer Science and Programming – MIT, <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-00-introduction-to-computer-science-and-programming-fall-2008/>
- [17] Programming Methodology - National University of Singapore, <http://www.comp.nus.edu.sg/~cs1101x/>
- [18] Software Construction – Uottawa University, <https://www.site.uottawa.ca/~bochmann/SEG-2106-2506/Notes/index.html> ),
- [19] Uconecta, <http://www.uconecta.com>
- [20] E. Vidal, E. Castro & C. Baluarte, Integrando la enseñanza de habilidades “blandas”: una experiencia en la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas - Universidad Nacional de San Agustín, XIX Congreso Internacional de Informática Educativa, Brasil 2014
- [21] <http://facultyweb.kennesaw.edu/jchasti/>
- [22] T. Lethbridge, Topics that might be under-taught in university <http://www.site.uottawa.ca/~tcl/edrel/underTaught.html>
- [23] T. Lethbridge, What Knowledge Is Important to a Software Professional? IEEE Computer, 33, 44-50, 2000.
- [24] Kennesaw State University, <http://ccse.kennesaw.edu/swegd/>
- [25] Software Assurance Curriculum project. : <http://www.cert.org/mswa/>
- [26] Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK) <http://www.computer.org/web/swebok/v3-guide>