Implementation of a Software Engineering Curriculum based on ACM and ABET: A Peruvian Experience

Marco Aedo López, Ing.¹, Elizabeth Vidal Duarte, Mg.¹, Eveling Castro Gutiérrez, Mg.¹

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, maedol@unsa.edu.pe, evidald@unsa.edu.pe, ecastro@unsa.edu.pe

Abstract– The development of a Software Engineering curriculum must take into account international criteria and recommendations as professionals must be trained for both the national and international markets. The present work shows the experience of implementation of a curriculum in the undergraduate program of Ingeniería de Sistemas of the Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa - Peru. The curriculum applied the recommendations of the ACM for Software Engineering Programs SE2004, in addition the ABET Accreditation criteria, opinions of representatives of the national and international industry and experiences of other Software Engineering programs already accredited were considered. This new curriculum was implemented as of 2013 and we currently have 2 promotions of students graduated in 2018. We highlight the difficulties encountered and the results obtained from the implementation of the curriculum.

Keywords— Curriculum Improvement, ACM, ABET, Software Engineering, SE2004

Digital Object Identifier (DOI): http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.64 ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390
--

Implementación de un Plan de Estudios de Ingeniería de Software basada en ACM y ABET: Una Experiencia Peruana

Marco Aedo López, Ing.¹, Elizabeth Vidal Duarte, Mg.¹, Eveling Castro Gutiérrez, Mg.¹

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, maedol@unsa.edu.pe, evalid@unsa.edu.pe, ecastro@unsa.edu.pe

Abstract– *La elaboración de un plan de estudios de Ingeniería de Software debe tomar en cuenta criterios y recomendaciones internacionales ya que se debe formar profesionales tanto para el mercado nacional como para el internacional. El presente trabajo muestra la experiencia de implementación de un plan de estudios en la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú. El plan de estudios aplicó las recomendaciones de la ACM para Programas de Ingeniería de Software SE2004, además se consideraron los criterios de Acreditación de ABET, opiniones de representantes de la industria nacional e internacional y experiencias de otros programas de Ingeniería de Software ya acreditados. Este nuevo plan de estudios se implementó a partir del 2013 y actualmente ya contamos con 2 promociones de estudiantes egresados al 2018. Destacamos las dificultades encontradas y los resultados obtenidos de la implementación del plan de estudios.*

Keywords– *Mejora Curricular, ACM, ABET, Ingeniería de Software, SE2004*

I. INTRODUCCIÓN

En la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa – Perú, la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas [1] inició su funcionamiento en 1995 y en la actualidad cuenta con 20 promociones de estudiantes egresados. Inicialmente estuvo enfocada a cubrir todo lo relacionado al área de Computación, área que en las últimas dos décadas ha experimentado un crecimiento exponencial en conocimientos [2]. Los planes de estudio se implementaron los años 1995, 1997, 2002, luego no hubo procesos de reestructuración o actualización hasta el 2013 y posteriormente en el 2017.

En los tres primeros planes de estudio el perfil propuesto fue híbrido, se centraba en el área de la Computación pero con fuertes influencias de otras áreas como Ingeniería Industrial, Ingeniería Electrónica, Ingeniería de Sistemas y Matemática. Situación muy común dentro de nuestro país y similar a diferentes realidades de Latinoamérica. Esto llevaba a la formación genérica de profesionales que eran capacitados en varias áreas de conocimiento de la ciencia e ingeniería, pero de forma superficial. Lo que se cubría hasta el Plan de Estudios 2002 en comparación con toda el área de la Computación se puede ver en Fig. 1. El eje x va desde los conocimientos más teóricos a los más aplicados, el eje y va desde el nivel de hardware hasta la aplicación empresarial de la Computación.

Incluso se enseñaban tópicos fuera del espacio de la

Computación, que acaparaban más tiempo del deseable, tiempo que podría ser utilizado más eficazmente.

Fig. 1 El espacio del problema de la Computación.

El afianzamiento de nuevas especialidades dentro del área de Computación define nuevas carreras profesionales [2] cuyos cuerpos de conocimiento se encuentran descritos en documentos desarrollados por la Association for Computing Machinery (ACM), que constituyen referencias reconocidas mundialmente. ACM identifica cinco carreras de computación [2]: Ciencia de la Computación, Ingeniería de 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 el plan de estudios al perfil de Ingeniería de Software, perfil que era el más adecuado debido al campo ocupacional que los egresados y profesionales ejercían [3].

Se define la Ingeniería de Software como “la aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable para el desarrollo, operación y mantenimiento de software” [4]. La Ingeniería de 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 [5].

Nuestro trabajo presenta la experiencia de implementación del Plan de Estudios 2013 en la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú. El plan de estudios se basó en las recomendaciones de la ACM para Programas de Ingeniería de Software, Software Engineering 2004 – Curriculum Guidelines (SE2004), además se consideraron los criterios de Acreditación de Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) [6], opiniones de la industria nacional e internacional y experiencias de otros programas de Ingeniería de Software ya acreditados [3].

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.64>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Resaltamos fundamentalmente las dificultades encontradas y los resultados obtenidos al tener dos promociones de egresados formadas íntegramente aplicando dicho plan de estudios.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: la sección II describe las disciplinas de la Computación según ACM. En la sección III se describe el cuerpo del conocimiento, especialidades y competencias expuestas en el SE2004. En la sección IV se presentan las habilidades de ABET y las consideraciones a tener en cuenta en la preparación de una carrera de ingeniería. En la sección V presentamos nuestra propuesta de plan de estudios implementado. En la sección VI resaltamos las dificultades encontradas y los resultados obtenidos. Finalmente presentamos las conclusiones.

II. PRINCIPALES DISCIPLINAS DE LA COMPUTACIÓN

Computing Curricula 2005 (CC2005) [2] es un documento de la ACM que define las disciplinas de la Computación, su objetivo es dar orden a la formación en programas de pregrado, dado el enorme conocimiento desarrollado en el área en los últimos años.

Define a la Computación como cualquier actividad que tenga relación con las computadoras, además aclara que no es una disciplina, sino un conjunto de disciplinas. Describe como abarca todas las actividades incluyendo software y hardware, y advierte que cada especialista en algún área de computación verá el campo de una manera distinta. Indica que existen muchas carreras de Computación en el mundo y aún muchas más denominaciones para ellas como Ingeniería de Sistemas/Informática/Computación, etc.

El documento trata de formalizar 5 especialidades, pero manifiesta su intención de agregar más en el futuro; indicando que cada especialidad se volverá menos general y más específica en el transcurso del tiempo, situación esperada en un área de crecimiento dinámico como es la Computación.

Ver en la Fig. 2 los antecedentes en la evolución de la Computación antes de 1990 [2]. El hardware era dominio de la Ingeniería Eléctrica (EE) y de la Ingeniería de Computación (CE). El software era asunto de la Ciencia de la Computación (CS) y la parte de la aplicación a la empresa era de Sistemas de Información (IS).

Pre-1990s:

Fig. 2 Evolución del área de Computación, en USA Pre-1990.

Ver en la Fig. 3 los antecedentes a partir de 1990. Se nota la evolución y la necesidad de nuevas disciplinas dentro de la Computación, así aparecen la Ingeniería de Software (SE) y la Tecnología de Información (IT).

Post-1990s:

Fig. 3 Evolución del área de Computación, en USA Post-1990.

La CC2005 considera las siguientes 5 disciplinas, ver en las Fig. 4 a 8 los espacios de problema de la Computación que conciernen a cada disciplina [2].

Fig. 4 Ciencia de Computación.

Fig. 5 Sistemas de Información.

Fig. 6 Ingeniería de Software.

Fig. 7 Ingeniería de Computación.

Fig. 8 Tecnología de Información.

Como se puede observar, las 5 disciplinas ocupan diferentes espacios de problema de la Computación, aunque se traslapan en ciertos puntos. Ver Fig. 9.

Fig. 9 El Espacio de Problema de la Computación – 5 Disciplinas según ACM.

Debido a esto, es que es natural que puedan existir cursos comunes a cada disciplina, aunque el peso en horas que se le da a cada curso podría variar según las competencias a desarrollar en los estudiantes de cada una.

En la Fig. 10 se muestran algunos ejemplos de cursos propuestos en [2] con cantidad de horas mínima y máxima según la disciplina correspondiente.

Por ejemplo en Fundamentos de Programación, para Ingeniería de Software se considera mínimo y máximo de 5 horas, mientras que en las otras disciplinas pueden llegar a tener como mínimo 2 y máximo 4. En Procesos de Software considera mínimo de 2 y máximo de 5 para Ingeniería de Software, mientras en las otras disciplinas considera entre 1 a 2 horas. Lo que muestra el nivel de profundidad en que se debe enseñar cada curso según la disciplina. La misma situación existe para cursos aplicativos a la empresa que se cubren con mayor profundidad para las disciplinas de Sistemas de Información y Tecnología de Información.

Knowledge Area	CE		CS		IS		IT		SE	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Programming Fundamentals	4	4	4	5	2	4	2	4	5	5
Integrative Programming	0	2	1	3	2	4	3	5	1	3
Algorithms and Complexity	2	4	4	5	1	2	1	2	3	4
Computer Architecture and Organization	5	5	2	4	1	2	1	2	2	4
Operating Systems Principles & Design	2	5	3	5	1	1	1	2	3	4
Operating Systems Configuration & Use	2	3	2	4	2	3	3	5	2	4
Net Centric Principles and Design	1	3	2	4	1	3	3	4	2	4
Net Centric Use and configuration	1	2	2	3	2	4	4	5	2	3
Platform technologies	0	1	0	2	1	3	2	4	0	3
Theory of Programming Languages	1	2	3	5	0	1	0	1	2	4
Human-Computer Interaction	2	5	2	4	2	5	4	5	3	5
Graphics and Visualization	1	3	1	5	1	1	0	1	1	3
Intelligent Systems (AI)	1	3	2	5	1	1	0	0	0	0
Information Management (DB) Theory	1	3	2	5	1	3	1	1	2	5
Information Management (DB) Practice	1	2	1	4	4	5	3	4	1	4
Scientific computing (Numerical mthds)	0	2	0	5	0	0	0	0	0	0
Legal / Professional / Ethics / Society	2	5	2	4	2	5	2	4	2	5
Information Systems Development	0	2	0	2	5	5	1	3	2	4
Analysis of Business Requirements	0	1	0	1	5	5	1	2	1	3
E-business	0	0	0	0	4	5	1	2	0	3
Analysis of Technical Requirements	2	5	2	4	2	4	3	5	3	5
Engineering Foundations for SW	1	2	1	2	1	1	0	0	2	5
Engineering Economics for SW	1	3	0	1	1	2	0	1	2	3
Software Modeling and Analysis	1	3	2	3	3	3	1	3	4	5
Software Design	2	4	3	5	1	3	1	2	5	5
Software Verification and Validation	1	3	1	2	1	2	1	2	4	5
Software Evolution (maintenance)	1	3	1	1	1	2	1	2	2	4
Software Process	1	1	1	2	1	2	1	1	2	5
Software Quality	1	2	1	2	1	2	1	2	2	4
Comp Systems Engineering	5	5	1	2	0	0	0	0	2	3
Digital logic	5	5	2	3	1	1	1	1	0	3
Embedded Systems	2	5	0	3	0	0	0	1	0	4
Distributed Systems	3	5	1	3	2	4	1	3	2	4
Security: issues and principles	2	3	1	4	2	3	1	3	1	3
Security: implementation and mgt	1	2	1	3	1	3	3	5	1	3
Systems administration	1	2	1	1	1	3	3	5	1	2
Management of Info Systems Org.	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0
Systems integration	1	4	1	2	1	4	4	5	1	4
Digital media development	0	2	0	1	1	2	3	5	0	1
Technical support	0	1	0	1	1	3	5	5	0	1

Fig. 10 Peso comparativo de tópicos de la computación en las 5 disciplinas.

III. SOFTWARE ENGINEERING 2004

SE2004 [5] se constituye en un documento de la ACM que define las recomendaciones para Programas de Ingeniería de Software a nivel de pregrado. En él se definen aquellos conocimientos que deben tener los egresados. Además, describe recomendaciones pedagógicas, algunos ejemplos de cursos y patrones de planes de estudio. SE2004 define un cuerpo de conocimiento base, áreas de especialización sugeridas y las competencias del egresado.

A. Cuerpo del Conocimiento

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

TABLA I
CUERPO DEL CONOCIMIENTO SE2004: SUBDISCIPLINAS

Área de Conocimiento/ Unidad de Conocimiento	Título	Horas
CMP	Esenciales de Computación	172
FND	Fundamentos de Matemática e Ingeniería	89
PRF	Práctica Profesional	35
MAA	Modelado y Análisis de Software	53
DES	Diseño de Software	45
VAV	Verificación y Validación de Software (V&V)	42
EVO	Evolución de Software	10
PRO	Proceso de Software	13
QUA	Calidad de Software	16
MGT	Gestión de Software	19

TABLA II
CUERPO DEL CONOCIMIENTO SE2004: UNIDADES

Área de Conocimiento/ Unidad de Conocimiento	Título	Horas
CMP	Esenciales de Computación	172
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
FND	Fundamentos de Matemática e Ingeniería	89
FND.mf	Fundamentos de Matemática	56
FND.ef	Fundamentos de Ingeniería para software	23
FND.ec	Economía de Ingeniería para software	10
PRF	Práctica Profesional	35
PRF.psy	Dinámica de Grupo/Psicología	5
PRF.com	Habilidades de Comunicación (Específico a SE)	10
PRF.pr	Profesionalismo	20
MAA	Modelado y Análisis de Software	53
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
DES	Diseño de Software	45
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
VAV	Verificación y Validación de Software (V&V)	42
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
EVO	Evolución de Software	10
EVO.pro	Procesos de Evolución	6
EVO.ac	Actividades de Evolución	4
PRO	Proceso de Software	13
PRO.con	Conceptos de Proceso	3
PRO.imp	Implementación de Proceso	10
QUA	Calidad de Software	16
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
MGT	Gestión de Software	19
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

B. Áreas de Especialización para la Ingeniería de Software

También se presentan diferentes alternativas de especialización dentro de la Ingeniería de Software. Estas alternativas no son limitantes ni únicas, podría haber más, y tampoco indican que se deban seguir todas, lo cual es imposible. Pero 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 el plan de estudios. En la Tabla III se muestran dichas especializaciones y su descripción.

TABLA III
ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN SE2004

Referencia	
SAS	Especialidades de Aplicación
SAS.net	Sistemas Centrados en Redes
SAS.net.1	Conocimiento y Habilidades en tecnología Basada en web
SAS.net.2	Profundidad en Networking
SAS.net.3	Profundidad en Seguridad
SAS.inf	Sistemas de Información y Procesamiento de Datos
SAS.inf.1	Profundidad en Bases de Datos
SAS.inf.2	Profundidad en Administración de Negocios
SAS.inf.3	Datawarehousing
SAS.fin	Sistemas Financieros y de E-Commerce
SAS.fin.1	Contabilidad
SAS.fin.2	Finanzas
SAS.fin.3	Profundidad en Seguridad
SAS.sur	Sistemas Tolerantes a Fallos y de Supervivencia
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
SAS.sec	Sistemas de Alta Seguridad
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
SAS.sfy	Sistemas Críticos de Seguridad
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
SAS.emb	Sistemas en tiempo real y Embebidos
SAS.emb.1	Hardware para sistemas embebidos
SAS.emb.2	Lenguajes y Herramientas para desarrollo
SAS.emb.3	Profundidad en asuntos de sincronización
SAS.bio	Sistemas Biomédicos
SAS.bio.1	Biología y Ciencias relacionadas
SAS.bio.2	Conocimiento relacionado a sistemas críticos de seguridad
SAS.sci	Sistemas Científicos
SAS.sci.1	Profundidad en la Ciencia relacionada
SAS.sci.2	Profundidad en Estadística
SAS.sci.3	Visualización y gráficos
SAS.tel	Sistemas de Telecomunicaciones
SAS.tel.1	Profundidad en señales, teoría de información
SAS.tel.2	Protocolos de telefonía y telecomunicaciones
SAS.av	Sistemas Aeronáuticos y Vehiculares
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
SAS.ind	Sistemas de Control de Procesos Industriales
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
SAS.mm	Multimedia, Juegos y Sistemas de Entretenimiento
SAS.mm.1	Visualización, Hápticos y Gráficos
SAS.mm.2	Profundidad en Diseño de Interfaces Humano – Computador
SAS.mm.3	Profundidad en redes
SAS.mob	Sistemas para Plataformas Móviles
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
SAS.ab	Sistemas basados en Agentes
SAS.ab.1	Aprendizaje de Máquinas
SAS.ab.2	Lógica Difusa
SAS.ab.3	Ingeniería de Conocimiento

C. Competencias del Egresado (Outcomes)

Se identifica siete competencias que un egresado de una carrera profesional de Ingeniería de Software debe poseer:

1) Mostrar dominio de los conocimientos y habilidades de ingeniería de software, y las cuestiones profesionales necesarias 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.

IV. ABET

ABET [6] es una reconocida organización internacional 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

Nos basamos en el Criterio 3 de ABET, el cuál presenta once habilidades que los estudiantes de ingeniería deben poseer para cuando culminen sus estudios (Tabla IV).

TABLA IV
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 Plan de Estudios

ABET establece consideraciones generales para todas las carreras de ingeniería y consideraciones específicas a la Ingeniería de Software.

1) 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 con una gran experiencia en diseño basado en el conocimiento y habilidades adquiridas en los cursos anteriores y la incorporación de las normas adecuadas de ingeniería y múltiples limitaciones realistas.

2) Consideraciones específicas a Ingeniería de 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.

V. LA PROPUESTA

Basándonos en el SE2004, los criterios establecidos por ABET, las recomendaciones de los expertos [3] y el análisis del mercado laboral, se elaboraron el perfil del estudiante, las competencias a desarrollar y el plan de estudios propuesto. También 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 de plan de estudio considera las once habilidades indicadas por ABET (a - k) y además incluye habilidades derivadas de las consideraciones específicas a Ingeniería de Software (l, m, n, o). La Tabla V muestra detalladamente dichas competencias.

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 de 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.

C. Plan de Estudios

Considerando todas las fuentes descritas previamente se obtuvo un plan de estudios. Los cursos fueron agrupados en cuatro categorías:

- 1) Ciencias básicas (amarillo)
- 2) Fundamentos de computación (naranja)
- 3) Ingeniería de software (plomo)
- 4) Formación general (verde)

Respetando las recomendaciones generales y específicas de ABET. En la Tabla VI se muestra el nuevo Plan de Estudios 2013. Se detallan las horas teóricas (HT), horas prácticas (HP) y horas de laboratorio (HL).

TABLA VI
PLAN DE ESTUDIOS PROPUESTO

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 I	2		4
	CS102	Fundamentos de Programación II	2	2	4
	NT103	Comunicación Oral y Escrita	2	2	
III	NT104	Taller de Liderazgo y Colaboración	2		
	MA103	Álgebra 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		
IV	NT107	Redacción de Artículos e Informes de Investigación	2		
	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	
V	CS212	Análisis y Diseño de Algoritmos	2	2	2
	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	
VI	SE302	Organización y Métodos	2	2	2
	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	
VII	NT110	Métodos de Investigación	1	2	
	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
VIII	SE401	Auditoría de Ingeniería de Software	1	2	
	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 A	2		2
		Electivo 1 B	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
X	SE521	Mantenimiento, Configuración y Evolución de Software	1	2	2
		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

Además, se han considerado tres áreas de especialización que se exponen 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. Dicha especialización se produce en los tres últimos semestres con el sistema de cursos electivos y dónde los estudiantes deben seguir 2 áreas de especialización para alcanzar el creditaje de 220 para lograr egresar.

TABLA VII
LÍNEAS DE ESPECIALIZACIÓN

Línea Especialización	Cursos	Sem
SAS.mm: 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
SAS.mob: Sistemas para Plataformas Móviles	• Introducción al Desarrollo en Nuevas Plataformas	VIII
	• Desarrollo Avanzado en Nuevas Plataformas	IX
	• Plataformas Emergentes	X
SAS.inf: 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

En vías de un proceso de Acreditación, elaboramos una matriz que mapea el aporte de curso por competencias [3].

E. Desarrollo Curricular Colaborativo

El proceso de colaboración internacional se realizó en dos grandes bloques: con Universidades y con Expertos de Industria e Instituciones [3].

F. Malla Curricular del Plan de Estudio

Se puede observar en la Fig. 11 la precedencia de los cursos, sus prerrequisitos, codificación general, nombre, creditaje, horas teóricas, prácticas y de laboratorio respectivamente.

Fig. 11 Malla Curricular del Plan de Estudios 2013

VI. DIFICULTADES ENCONTRADAS Y RESULTADOS

A. Dificultades encontradas

1) *La especialización de la plana docente en temas específicos de Ingeniería de Software:* nuestra plana docente es bastante heterogénea y está constituida por profesionales de diferente formación profesional, tal como ingenieros industriales, ingenieros electrónicos, matemáticos e ingenieros de sistemas, pero que después de un proceso de concientización, en su mayoría, se comprometieron con el proceso y se capacitaron.

2) *Adaptación de los estudiantes que ingresaron con el plan de estudios anterior y que ahora asumen el nuevo plan de estudios:* esto generó problemas de creditaje y convalidaciones que se sobrellevaron de la mejor manera, siempre evitando perjudicar al estudiante, pero ante todo cuidando los criterios de calidad.

3) *Cambio de paradigma:* pasar de objetivos a competencias trajo consecuencias que se superaron con capacitación del personal docente.

4) *Acreditación:* todo el cambio estructural realizado al plan de estudios tuvo consecuencias en el inicio del proceso de autoestudio y acreditación, el cual demoró más de lo previsto.

5) *Contactar con la industria nacional e internacional:* históricamente siempre hubo un divorcio universidad/empresa, brecha que se buscó acortar.

6) *Cambio del status quo:* los cambios siempre traen dificultades, años de un modelo genérico de Ingeniería de Sistemas, modelo que consideramos que ya no era sostenible, y la reciente aparición de carreras profesionales de Ciencia de Computación nos llevaron a adecuarnos a un estándar internacional. Luchar contra ideas y preconceptos establecidos fue complicado, pero se logró demostrar que es perfectamente factible alinearse al perfil de Ingeniería de Software.

7) *Integración de nuestros estudiantes en proyectos reales:* antes se realizaban sólo pequeños proyectos desconectados, pero ahora se realizan a lo largo de la carrera, propiciando la integración a proyectos de desarrollo de software de diferente tipo, culminando en las prácticas preprofesionales y en los cursos capstone que solucionan problemas reales.

8) *Mantenimiento constante del plan de estudios:* se debe mantener actualizado y alineado con estándares como el Software Engineering 2014 (SE2014) [7], alinearse al Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK) [8] y respetar la Nueva Ley Universitaria Peruana N° 30220 [9]. Situaciones ya consideradas para el Plan de Estudios 2017.

B. Resultados

El plan de estudios expuesto entró en funcionamiento en el 2013 y para el 2018 ya hay dos promociones formadas íntegramente aplicando dicho plan de estudios, los resultados de la implementación se describen a continuación.

1) *Alineación a estándares internacionales:* nos permitió uniformizar los contenidos de los cursos. Así, cursos importantes como Fundamentos de Programación I y II,

Programación Web I y II, Construcción de Software utilizan material complementario de universidades como Stanford [10], Massachusetts Institute of Technology (MIT) [11], National University of Singapore [12] y University of Ottawa [13]. Dentro del desarrollo de los cursos, los estudiantes desarrollan actividades de dichas universidades.

2) *Enfoque a proyectos:* a partir del segundo año de estudios, los estudiantes participan en proyectos de desarrollo reales como el de la red social para universitarios Uconecta [14]. En quinto año hay 2 cursos capstone de Proyecto de Ingeniería de Software que buscan reunir todas las competencias adquiridas en una experiencia específica de desarrollo de software que dé solución a problemas complejos reales.

3) *Habilidades Blandas:* 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 (f) (g) (i) de ABET. El primer reporte de los resultados obtenidos se encuentra publicado en [15].

4) *Investigación:* teniendo como base el curso de Redacción de Artículos e Informes de Investigación, se realizaron publicaciones como parte de dicho curso y en otros más, que fueron aprobadas en eventos internacionales de nivel internacional como LACCEI los años 2016, 2017 y 2018 [16] y otros.

5) *Nivel de aprobación en cursos:* los cursos de programación, Fundamentos de Programación I y II, en el nuevo plan de estudio han duplicado la cantidad de horas (de 4 horas a 8 horas semanales). La medición del proceso de enseñanza-aprendizaje se ha realizado mediante un análisis comparativo con la cantidad de estudiantes aprobados. Se ha mostrado un 60% de estudiantes aprobados en la nueva malla, con respecto al 40% de los cursos equivalentes en el plan de estudios anterior. Situación que se repite en varios cursos del plan de estudios expuesto.

6) *Proyección social:* en los cursos de Relaciones Humanas, Taller de Liderazgo y Colaboración se ha despertado algo que por generaciones estaba dormido, la obligación de la Universidad de colaborar con la mejora de la calidad de vida de la sociedad.

7) *Prácticas preprofesionales:* el 100% de los estudiantes egresados han realizado prácticas preprofesionales en empresas y en cargos ligados al desarrollo de software, inclusive algunos de ellos egresaron con trabajo seguro. Se les hace un monitoreo exhaustivo y se les brinda las facilidades de tiempo para realizar sus prácticas de la mejor manera posible.

8) *Relación Universidad – Empresa:* la brecha entre ambas se ha acortado con reuniones y eventos que incorporan a representantes de las empresas locales, nacionales e internacionales. Se crearon nexos importantes para que nuestros estudiantes realicen sus prácticas e incluso accedan a puestos de trabajo. Entre las principales empresas internacionales contactadas cabe resaltar [17],[18],[19].

9) *Innovación y Desarrollo*: cursos importantes como Innovación y Creatividad, y Gestión de Emprendimientos de Software han despertado en nuestros estudiantes el deseo de emprender y crear sus propias empresas.

10) *Acreditación*: el Plan de Estudios 2013 está basado en los criterios de ABET, lo cual nos facilitará el proceso de Acreditación Internacional con ABET.

11) *Identificación de los estudiantes*: ha habido un antes y un después de la implementación del plan de estudios, así la cultura organizacional ha evolucionado sorprendentemente, con una nueva generación de estudiantes identificados y comprometidos con la escuela profesional.

12) *Los docentes*: la indiferencia fue reemplazada por una cultura de capacitación, se realizan pasantías nacionales e internacionales, hacen publicaciones y participan en eventos académicos. Se ganó financiamiento de Cienciaactiva para la creación del Centro de Investigación, Transferencia de Tecnología y Desarrollo de Software I+D+I– CITESOFT [20].

13) *Aprendizaje continuo*: se propicia que los estudiantes estén preparados para la adquisición de nuevos conocimientos, situación natural en el área de la Computación.

14) *Inglés*: se logra que los estudiantes comprendan lecturas en inglés, redacten artículos y algunos inclusive logran realizar exposiciones en dicho idioma.

15) *Replicación*: creemos que esta experiencia podría ser replicada en cualquier escuela profesional nacional o internacional que desee alinearse a referencias internacionales y que adopte el perfil de Ingeniería de Software.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se presentó la experiencia de la implementación de un Plan de Estudios en Ingeniería de Software. Se fundamentó en las recomendaciones internacionales de la ACM para carreras de pregrado en Ingeniería de Software establecidas en el documento SE2004 y consideró como base los criterios de ABET. El utilizar el SE2004 nos permitió tener una línea base ordenada y dar un mejor marco de trabajo para el desarrollo de la carrera y futura acreditación. Hemos comprobado que crear software desde segundo año es perfectamente factible, siempre y cuando se sigan los principios de ingeniería. Las actividades de investigación también se van desarrollando desde los años iniciales y los resultados son sorprendentes. El desarrollo de las habilidades blandas que nos ha llevado a la formación integral del estudiante ha sido imprescindible, así los conocimientos técnicos y científicos se deben complementar con las habilidades sociales para formar un mejor profesional y persona para nuestra sociedad. Y no sólo los estudiantes se han favorecido de la implementación de este plan de estudios, la mayoría de los docentes han dado un cambio radical a su forma de actuar y también han avanzado profesionalmente, realizando contactos con pares internacionales, publicando en eventos internacionales, realizando pasantías y retroalimentando con sus experiencias en la formación de los estudiantes.

REFERENCIAS

- [1] Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa - Perú. <http://fips.unsa.edu.pe/ingenieriadesistemas/>
- [2] ACM Computing Curricula 2005 – The Overview Report, 2005. <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2005-march06final.pdf>
- [3] M. Aedo, E. Vidal, E. Castro & A. Paz, “Una Experiencia Colaborativa Internacional para la mejora curricular en Ingeniería de Software”, 14th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI), Costa Rica 2016
- [4] 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.
- [5] Curriculum guidelines for undergraduate degree programs in Software Engineering 2004. <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/se2004volume.pdf>
- [6] ABET. <http://www.abet.org>
- [7] Curriculum guidelines for undergraduate degree programs in Software Engineering 2014. <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/se2014.pdf>
- [8] SWEBOK <http://www.computer.org/web/swebok/v3-guide>
- [9] Ley Universitaria N° 30220 – MINEDU http://www.minedu.gob.pe/reforma-universitaria/pdf/ley_universitaria.pdf
- [10] Programming Methodology – Stanford University, <https://see.stanford.edu/Course/CS106A>
- [11] 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/>
- [12] Programming Methodology - National University of Singapore, <http://www.comp.nus.edu.sg/~cs1101x/>
- [13] Software Construction – University of Ottawa, <https://www.site.uottawa.ca/~bochmann/SEG-2106-2506/Notes/index.html>)
- [14] Uconecta, <http://www.uconecta.com>
- [15] 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
- [16] Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI) Proceedings 2016, 2017 y 2018 <http://www.laccei.org/index.php/publications/laccei-proceedings>
- [17] BANTOTAL. <http://www.bantotal.com/>
- [18] BELATRIX. <https://www.belatrixsf.com/>
- [19] TATA CONSULTANCY SERVICES. <https://www.tcs.com/>
- [20] CIENCIAACTIVA. Concurso de Equipamiento Científico para la Investigación <http://www.cienciaactiva.gob.pe/unsas/convocatorias/equipamiento-cientifico-para-la-investigacion>