

Construcción de un Paquete de Laboratorio para un Experimento en Ingeniería de Software

Cecilia Apa¹, Martín Solari², Diego Vallespir¹, and Sira Vegas³

¹ Universidad de la República, Uruguay

² Universidad ORT, Uruguay

³ Universidad Politécnica de Madrid, España

ceapa@fing.edu.uy, martin.solari@ort.edu.uy,
dvallesp@fing.edu.uy, svegas@fi.upm.es

Resumen En este trabajo se presenta la construcción de un paquete de laboratorio para un experimento controlado de ingeniería de software. Un paquete de laboratorio es el contenedor del conocimiento y materiales necesarios para replicar un experimento. La construcción del mismo se basó en el uso de una propuesta genérica de paquete de laboratorio. El estudio tiene dos objetivos: obtener una instancia de paquete para un experimento concreto y validar la propuesta genérica. El proceso de instanciación definido permitió recoger los incidentes y generar lecciones aprendidas. Este caso de estudio se agrega como punto de validación de la propuesta. Se concluye que la misma es viable para instanciar un experimento de ingeniería de software y completa para abarcar las actividades del proceso experimental. Las revisiones realizadas permitieron obtener un paquete más adecuado para el experimento y mejorar la propuesta genérica para futuras instanciaciones.

Keywords: Ingeniería de Software Empírica, Caso de Estudio, Experimentación, Paquete de Laboratorio, Experimento Controlado.

1. Introducción

La experimentación es uno de los medios usados en el marco del método científico para obtener evidencia acerca de las conjeturas teóricas. Un experimento implica elaborar un entorno controlado donde pueda observarse en forma repetida un fenómeno [6]. Esto permite aislar los mecanismos esenciales que influyen en el mismo para identificar relaciones causa - efecto.

En la Ingeniería de Software (en adelante IS) la experimentación es un método de investigación utilizado para contrastar en la realidad las afirmaciones sobre técnicas y herramientas [11]. Aunque los métodos empíricos se utilizan por la comunidad investigadora en IS, aún existe un gran número de afirmaciones que no están soportadas por evidencia. Por ejemplo, es común leer afirmaciones que indican que cierta técnica es mejor que otra, aunque esto no haya sido probado más que para un caso particular. Esta situación demanda aumentar y profundizar el uso de experimentos en IS, buscando medios eficaces y eficientes para realizarlos [15].

Un experimento debe ser replicado para obtener más confianza sobre sus resultados. Dentro de una línea de investigación se realiza una cadena de replications y construcción de nuevas hipótesis para evolucionar el conocimiento. Las replications permiten confirmar que los resultados de un experimento no han sido fruto del azar o influenciados por los investigadores. Por otro lado, permiten introducir variaciones en el contexto para extender el alcance de los resultados y explorar nuevas variables [12].

Para dar coherencia a las replications y mejorar el uso de recursos de investigación, los experimentos pueden ser organizados en familias. Este concepto fue definido y puesto en práctica por Basili y otros [4]. Una familia de experimentos es un conjunto de experimentos y sus replications que comparten un mismo objetivo de investigación. Los experimentos que pertenecen a la familia pueden tener un diseño similar y compartir materiales entre replications.

Las replications de una familia de experimentos pueden realizarse en varios sitios y ser conducidas por distintos investigadores. Realizar un experimento es una tarea compleja que requiere conocimientos específicos, además de recursos materiales y humanos. Para facilitar esta labor, deben utilizarse instrumentos adecuados para la transferencia de conocimientos y para el soporte del proceso experimental [21].

Uno de los instrumentos utilizados para soportar la replicación de experimentos son los Paquetes de Laboratorio (en adelante PL). Los PL organizan el conocimiento relativo a un experimento y los materiales necesarios para realizarlo [8]. Los PL permiten la transferencia del conocimiento entre distintos investigadores y constituyen un soporte a largo plazo de la línea de investigación. Aunque existen distintas propuestas, el problema de qué debe contener un PL no está resuelto. En este estudio se valida una propuesta de estructura y contenido de PL mediante su instanciación en un experimento concreto.

El experimento utilizado para construir el PL fue realizado por el Grupo de Ingeniería de Software (GrIS) del Instituto de Computación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República de Uruguay (en adelante Experimento InCo). El mismo se ha replicado en dos ocasiones, en los años 2008 y 2009. El objetivo del experimento es conocer la efectividad y costo de algunas técnicas de verificación unitaria [18,19,20].

Para empaquetar la familia de experimentos (compuesta por el experimento base y sus replications), se utiliza una propuesta genérica de PL para experimentos de IS [17]. La propuesta de PL está en proceso de evaluación y este caso constituye un nuevo punto para su validación. Por lo tanto, este estudio cumple un doble propósito: instanciar el conocimiento relativo al experimento InCo en un PL y agregar un punto de validación para la propuesta genérica de PL usando un experimento concreto.

2. Trabajos Relacionados

En un sentido amplio, puede considerarse PL a toda pieza de información escrita y materiales relativos a un experimento. Sin embargo, el término PL

está habitualmente referido a los materiales que son preparados específicamente para facilitar la replicación. Los PL están orientados a alentar y apoyar la realización de replications, encapsulando materiales, métodos y experiencias relativas a experimentos de IS [4].

No es posible ser exhaustivos con respecto a todos los experimentos en IS que han utilizado este instrumento. Sin embargo, se recogen en esta sección algunos trabajos relevantes relacionados con los PL. Los trabajos considerados realizan propuestas específicas o analizan su uso en replications de experimentos en IS.

Brooks y otros investigadores promueven la replicación como un paso necesario para la evolución del conocimiento [5]. Por otro lado, se advierte que la construcción de los PL es una tarea ardua para el experimentador. Aun así, se afirma que sin PL adecuadamente contruidos y documentados, la investigación empírica acumulativa y sistemática será difícil de alcanzar.

Una experiencia importante para el desarrollo del concepto de familia de experimentos fue realizada por Basili y otros mediante experimentos replicados sobre técnicas de lectura de código [3]. En el proyecto de investigación experimental participaron varios grupos de investigación de distintos países. En este marco, se construyó un PL para que el experimento pueda ser replicado y las técnicas difundidas entre los integrantes de una red de experimentación.

En la misma línea de investigación, se abordó el problema específico de la transferencia de conocimiento. Se propone un modelo para capturar el conocimiento tácito que poseen los investigadores sobre el experimento y la importancia de contar con un PL para evitar incidentes en el proceso de replicación. Se afirma que para transmitir efectivamente el conocimiento tácito se debe ir más allá de las simples descripciones del material operativo, el PL debe incluir alternativas de diseño válidas y fundamentación de los procesos experimentales [14]. En dicho estudio se realiza una propuesta de PL que es validada con un experimento concreto.

La problemática del uso de instrumentos de comunicación entre investigadores fue abordada por Juristo y otros realizando una comparación de varias replications. En cada replicación se aplicaron distintos mecanismos de comunicación e instrumentos: reuniones, consultas posteriores y distintos tipos de PL. Las conclusiones del estudio apuntan a que una forma de lograr replications exitosas es contar con un PL detallado que esté soportado por un proceso mínimo de comunicación entre los investigadores [10].

Es habitual que las comunidades científicas propongan guías específicas para la publicación de resultados de los experimentos controlados. La IS empírica no es la excepción y las guías presentadas por Jedlitschka y Pfahl en [9] son una referencia habitual para la publicación de resultados. En dicha propuesta se promueve una descripción estructurada del experimento para facilitar su comprensión. Estas guías deben tenerse en cuenta para la construcción de un PL, agregando otros elementos necesarios para realizar una replicación.

Mendonça y otros utilizan un enfoque dinámico para mejorar los PL mediante estudios observacionales [13]. Proponen estudiar los mismos durante el proceso de realización de la propia replicación. De acuerdo a los autores, el proceso

experimental debe incluir el empaquetamiento de la experiencia y la realización de un estudio piloto con el PL. De esta manera, se produce un PL mejorado que facilita la replicación del experimento en el futuro.

El estado de la práctica con los PL puede estudiarse directamente en casos donde haya un PL disponible para un experimento. En la clasificación realizada por Solari y Vegas [16] se comparan varios PL publicados de experimentos en IS y se identifican las siguientes carencias:

- Los PL se centran mayoritariamente en el material operativo (por ejemplo: programas, formularios) y no en otras actividades de la replicación, como la planificación y el análisis.
- Salvo en un caso de los analizados, no se integra en el PL la información de las replications realizadas y de la evolución de la investigación experimental.
- No hay una estructura uniforme y se usan formatos diversos para organizar el contenido.

En resumen, se ha avanzado significativamente en el problema de gestionar familias de experimentos y realizar replications. Sin embargo, en el estado de la práctica se observan carencias que pueden ser solucionadas con una propuesta de PL. En nuestro conocimiento, no existe aún una propuesta de PL, aparte de la utilizada en este estudio, que cubra todas las fases del proceso experimental y que permita organizar eficazmente los materiales de experimentos en IS en una misma estructura.

3. Descripción de la Propuesta de Paquete

La propuesta de PL es una respuesta a la problemática planteada para la realización de replications de experimentos de IS. El primer objetivo de un PL es facilitar la realización de una replicación. Sin embargo, este no es un objetivo final de la investigación experimental, sino un paso para la evolución del cuerpo de conocimientos de la disciplina. La propuesta de PL también contempla el resto de las actividades del proceso de investigación experimental y un uso eficiente de los recursos disponibles.

Al momento de realizar una replicación, intervienen varios procesos de transferencia de conocimiento entre investigadores. El replicador debe ser capaz de reproducir las condiciones experimentales planteadas, adaptar el diseño a las restricciones del sitio, analizar los resultados y agregarlos con los resultados anteriores. Un fallo en alguna de estas actividades puede inutilizar el trabajo de investigación realizado.

Uno de los problemas prácticos que motiva la propuesta es la organización de los materiales usados en los experimentos. Éstos están compuestos por un conjunto heterogéneo y complejo de artefactos de IS, junto con descripciones para la realización del experimento y los resultados de replications anteriores. Es común que estos materiales se encuentren dispersos en distintos soportes y formatos. La propuesta de PL brinda un marco para organizar los materiales en un solo cuerpo de información.

Realizar una replicación es un proceso costoso que demanda recursos humanos y materiales del equipo de investigación y del sitio donde se realiza. Una parte importante del esfuerzo para realizar una replicación se invierte en la comprensión del experimento y la preparación de su operativa. La propuesta de PL prevé la captura del conocimiento para optimizar el uso de estos recursos. Por ejemplo, la propuesta incluye una lista de actividades necesarias para realizar una replicación y el esfuerzo estimado para cada una.

Dada la naturaleza evolutiva de la investigación experimental, el PL debe ser un instrumento flexible. El mismo debe incorporar el material de distintas versiones del experimento, junto con las descripciones de cada replicación y los resultados obtenidos. El PL debe servir al investigador para conocer la evolución de la línea de investigación y para adaptar la replicación al sitio donde se va a realizar.

En resumen, la propuesta de PL intenta contemplar los siguientes desafíos:

- Transferir conocimiento experimental y de IS para realizar una replicación.
- Organizar el material en un solo cuerpo de información.
- Optimizar el uso de recursos de investigación.
- Facilitar la adaptación del experimento al contexto.
- Posibilitar la agregación de resultados y la evolución de la investigación.

La propuesta de PL está compuesta por tres elementos: una descripción genérica de la estructura que debe tener un PL específico, una plantilla y una lista de verificación del contenido. De esta manera, puede utilizarse como una guía en el proceso de organización del conocimiento y los materiales de un experimento de IS. En [17] se realiza la descripción detallada de la misma.

La estructura propuesta divide al PL en varios módulos inter-relacionados que se presentan esquemáticamente en la figura 1. Cada uno de los módulos soporta alguna actividad del proceso de investigación experimental. En la estructuración del contenido se ha tenido en cuenta que el PL es un documento técnico que puede ser leído en forma no-lineal y usado para distintos propósitos. El módulo de mayor nivel de abstracción es el de la **teoría** del experimento, que establece el marco teórico para la realización del experimento y la interpretación de los resultados. En el módulo **educación** se recogen los materiales utilizados para el entrenamiento de los sujetos que van a participar del experimento. En el módulo **experimento** se definen los aspectos generales del mismo y las instrucciones para replicarlo. Este módulo está organizado según las actividades del proceso de replicación: planteamiento, diseño experimental, operación y análisis. Además de las instrucciones para cada actividad, se incluye el material operativo y las herramientas necesarias para replicar el experimento.

La estructura también considera la dinámica evolutiva de la investigación experimental. En el módulo **evolución** se realiza un resumen de todos los estudios realizados. Este módulo sirve para establecer la relación entre las versiones del experimento y sus replicaciones, así como para ver la evolución de la familia de experimentos en conjunto. Los módulos **replicaciones** y **agregaciones** guardan la información de cada estudio de la familia de experimentos.

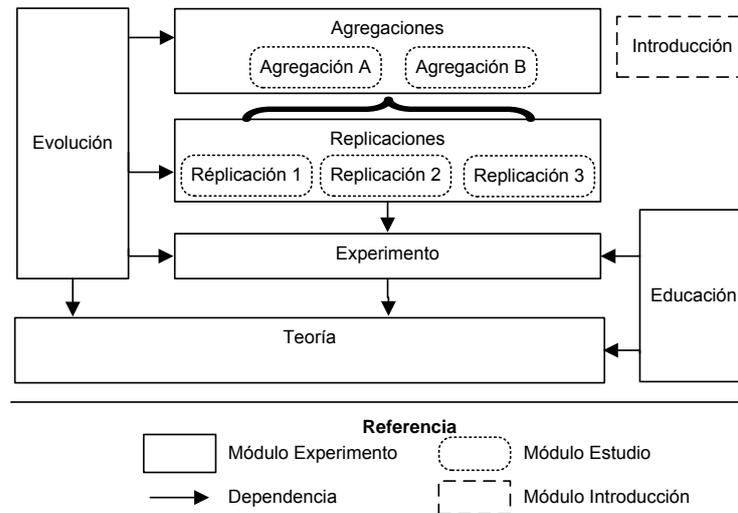


Figura 1. Módulos de la propuesta de PL.

Por tratarse de un documento técnico y operativo, el PL debe cumplir ciertos criterios de calidad de contenido. Para lograr estos objetivos de calidad, en la propuesta se incluye una lista de verificación que es usada en las revisiones del PL. Los aspectos contemplados en la verificación son: orientación a la tarea, organización del material operativo, soporte del proceso experimental, formato y estilo de escritura.

4. Caso de Estudio: Experimento InCo

En esta sección se describe la instanciación de la propuesta genérica de PL para el experimento InCo, indicando el proceso seguido y los incidentes registrados. En la sección de discusión se presentan las lecciones aprendidas sobre la instanciación del PL.

Para la instanciación del PL se usó el proceso que se ilustra en la figura 2, compuesto de 6 actividades. El **estudio de la propuesta de PL** es el primer paso necesario para poder generar el PL, en donde se analiza su estructura y cada uno de sus elementos. Luego se **identifican las fuentes de información** disponibles y se decide cuales se van a considerar. La **documentación** implica la generación del documento de PL y el material adjunto que se requiera. Luego de generada una versión del PL es necesario que ésta sea **verificada y validada**. Durante todo el proceso se realizan actividades de **consulta y seguimiento** del progreso y revisiones de los resultados intermedios. La actividad de **mantenimiento** es posterior a la liberación del PL, en donde el mismo debe actualizarse a medida que la investigación evoluciona.

En este proceso participaron 3 roles: instanciador del PL, autor de la propuesta de PL e investigador responsable. El instanciador del PL es el encargado

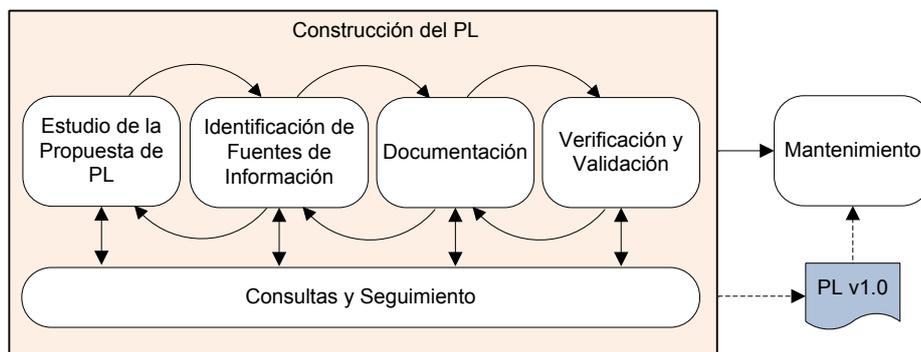


Figura 2. Proceso de instanciación del PL.

de generar el documento de PL y el material adicional que sea necesario. El autor de la propuesta de PL participa en las actividades de verificación, así como en las de consulta y seguimiento, teniendo como foco en el uso de la propuesta de PL. El investigador responsable participa en la validación del resultado, desde el punto de vista del experimento, respecto de la completitud y adecuación de la información documentada.

4.1. Instanciación del PL

El esfuerzo requerido para el estudio de la propuesta de PL varía dependiendo del conocimiento del instanciador del PL sobre el experimento y sobre conceptos de IS empírica. En nuestro caso, el instanciador tenía los conocimientos necesarios en IS empírica y formó parte del equipo de investigación que llevó adelante el experimento InCo. Sin embargo, igual resultó necesaria la evacuación de dudas mediante reuniones con el autor de la propuesta de PL, en donde se consultaba sobre el objetivo de cada componente del PL y el nivel de detalle necesario para cada uno.

En total, se realizaron 10 reuniones de seguimiento durante la construcción del PL, en donde se revisaba lo documentado hasta el momento y se evacuaban dudas. De esta forma, la construcción del PL fue realizada mediante un proceso iterativo e incremental. El resumen de las reuniones realizadas durante la instanciación se detallan en el cuadro 1.

Al momento de identificar las fuentes de información y elementos a incluir se decide utilizar la replicación correspondiente al año 2008. El propósito es construir una base genérica del experimento que sea flexible a la incorporación de más replicaciones. No se documenta la sección de agregación por no contar con estudios de ese tipo hasta el momento.

A lo largo del proceso de instanciación se utilizan herramientas y material de soporte que se incluyen en la propuesta de PL. La actividad de documentación

Cuadro 1. Reuniones de consulta durante la instanciación del PL.

| N° Reunión | Fase | Observaciones |
|-------------|--|---|
| 1, 2, 3 | Estudio de la Propuesta de PL | Evacuación de dudas acerca de la plantilla, de la información requerida y los elementos prioritarios a incluir. |
| 4, 5, 6 y 7 | Identificación de Fuentes de Información | Revisión de lo documentado, dudas específicas. |
| 8, 9 y 10 | Verificación y Validación | Correcciones fruto de las actividades de Verificación y Validación externa de las versiones borrador del PL. |

del PL está guiada por la plantilla que indica el objetivo de cada elemento a documentar y qué información es necesaria para dicho elemento. Para la generación del material adicional se utilizan guías específicas de nomenclatura y versionado. En las actividades de revisión se utilizan listas de verificación enfocadas en la usabilidad del PL.

Para el PL InCo se realizaron actividades de evaluación desde dos puntos de vista: verificación de la estructura con respecto a la propuesta de PL y validación del contenido con respecto al experimento. Los detalles de cada una se detallan en el cuadro 2, indicando el rol que llevó a cabo la actividad, el estado del PL para dicha revisión y si se utilizaron herramientas para la misma.

Cuadro 2. Actividades de evaluación del PL.

| Actividad | Rol | Herramientas | Detalles |
|----------------|--------------------------|-----------------------|--|
| Verificación 1 | Autor propuesta PL | Plantilla PL | Verificación temprana de la estructura y aclaraciones sobre uso de secciones. |
| Verificación 2 | Autor propuesta PL | Lista de verificación | Verificación de la estructura y contenido según la propuesta de PL. |
| Validación 1 | Investigador responsable | - | Validación de contenido del PL desde el punto de vista del conocimiento del experimento. |

La actividad de mantenimiento queda fuera de este caso de estudio. Sin embargo, se planifica que luego de liberada la primer versión estable del PL, esta evolucione a medida que la investigación avance. Por ser un documento de trabajo y evolutivo, es normal que el PL tenga secciones pendientes. La versión actual se puede obtener en la página web del GrIS⁴.

⁴ <http://www.fing.edu.uy/inco/grupos/gris/wiki/uploads/Reports/PaqueteLab-ExpeInCo.pdf>

4.2. Incidentes Registrados Durante la Instanciación

A lo largo del proceso de instanciación surgieron problemas e imprevistos que tuvieron que ser solucionados. Se detallan los más importantes.

Se necesitó un esfuerzo adicional en la actividad de documentación, para la adaptación de las diversas fuentes de información disponibles. Para este experimento las fuentes de información consideradas son muy variadas: proyectos de fin de carrera, reportes técnicos, documentos de texto, planillas electrónicas, bases de datos, correos electrónicos y el propio conocimiento tácito que tienen los investigadores acerca del experimento.

En algunos casos el pasaje de información desde las fuentes al PL fue directo y en otros fue necesario reestructurar la información, ampliarla o resumirla. En los casos en que la única fuente de información era el conocimiento y experiencia del investigador, fue necesario generar la documentación por completo. En el cuadro 3 se describen las fuentes de información para cada elemento del PL. El porcentaje de reutilización se calcula mediante una aproximación de la documentación generada contra la obtenida de la existente.

Cuadro 3. Fuentes de información para los elementos de PL.

| Elemento | Fuentes de información | % Reut. |
|------------------|---|---------|
| Teoría | Proyectos de fin de carrera, reportes técnicos, conocimiento tácito | 70 % |
| Experimento | Proyectos fin de carrera, correos electrónicos, bases de datos, otros documentos, conocimiento tácito | 60 % |
| Replicación 2008 | Proyectos de fin de carrera, conocimiento tácito | 90 % |
| Educación | Proyectos de fin de carrera, diapositivas con presentaciones teóricas | 80 % |

Dependiendo de la fuente de información, se requirió mayor o menor reestructuración de los datos o generación de documentación. La mayor parte de la información del PL se obtuvo reutilizando la documentación de dos proyectos de fin de carrera que detallan el diseño y ejecución de la replicación de 2008 [7,1] y un reporte técnico que describe conceptos generales de IS empírica [2]. En ambos casos esta información requirió de poca o moderada reestructura. Los mayores problemas al procesar estas fuentes de información fueron:

- Grandes volúmenes de información: los proyectos de fin de carrera tienen en el orden de 100 páginas cada uno y el reporte técnico 22.
- Información repetida: ambos proyectos de fin de carrera describen la replicación 2008 y se repite información acerca de IS empírica y conceptos presentados en el reporte técnico.

- Diferente público objetivo: la información no está orientada al replicador, sino a un tribunal académico que evaluará la solvencia de los estudiantes respecto del trabajo realizado.

Para la información obtenida de otros documentos, fue necesario un mayor esfuerzo en la reestructura de la misma, adaptándola según los objetivos del elemento del PL al cual estaba destinada. El mayor esfuerzo de adaptación y reestructura fue cambiar el público objetivo: la mayoría de la información estaba destinada a los investigadores (que poseían conocimiento tácito del experimento) o a los sujetos del experimento y no al replicador.

Al momento de la instanciación no había un orden específico acerca de cómo documentar los elementos del PL, ni cuáles resultaban críticos u obligatorios. En algunos casos, esto provocó que se destinara el esfuerzo para documentar elementos secundarios. Este problema se detectó y corrigió tempranamente, gracias a las reuniones de evacuación de dudas con el autor de la propuesta de PL.

En aquellos casos en que no se tenía una fuente de información documentada, fue necesario que el investigador responsable e investigadores asistentes estuvieran accesibles para consultas. Fue necesario consultar al investigador responsable acerca del paradigma general que enmarca el experimento, estado del arte y aspectos particulares del estudio. También fue necesario consultar a investigadores asistentes sobre detalles de la operativa y conducción de las sesiones del experimento.

Generalizar el diseño experimental llevó un esfuerzo mayor al de realizar un PL que abarcara solo una replicación. Cuando se concibió el experimento, se documentó la información necesaria para la realización de la primer replicación (2008), perdiendo el foco de un diseño general y flexible. En particular, no se tuvo en cuenta un diseño experimental genérico con potenciales diseños específicos (por ejemplo: variar cantidad de alternativas, grupos, factores, etc.), siendo necesario generalizar el diseño específico de la replicación 2008 para incluirlo en el PL. Aunque generalizar el diseño implicó un esfuerzo adicional, éste fue considerado necesario para minimizar el impacto de incorporar otras replicaciones.

Documentar aspectos de la operativa luego de la ejecución del experimento también requirió un esfuerzo adicional a lo planificado. Durante la realización de las replicaciones no se tuvo atención en documentar instrucciones para la conducción de las sesiones, incidentes, notas de la operativa o instrucciones para el análisis estadístico. Esta documentación se tuvo que generar durante la instanciación.

4.3. Discusión

En esta sección se detallan las lecciones aprendidas y se discute sobre la experiencia realizada desde dos puntos de vista: (1) obtener un PL para el experimento InCo y (2) validar la propuesta de PL.

Respecto del primer punto de vista, en la sección anterior se detallaron los incidentes principales de la instanciación del PL para el experimento InCo:

- Adaptación de las fuentes a un público objetivo diferente.

- Dificultad en la extracción del conocimiento tácito.
- Esfuerzo adicional para generalizar el diseño experimental partiendo de una replicación.
- Documentación de la operativa escasa o mal enfocada.

Una de las causas de los problemas mencionados fue el desconocimiento de la información necesaria para un futuro replicador que se tenía al momento de concebir y realizar el experimento. Documentar esta información más de un año de realizado el experimento conlleva más esfuerzo que hacerlo durante el mismo. Se tiene una alta probabilidad de pérdida de información, siendo ésta de gran utilidad para el futuro replicador, en especial uno novato. El esfuerzo invertido en la generación del PL InCo se detalla en el cuadro 4.

Cuadro 4. Esfuerzo de construcción del PL

| Actividad | Esfuerzo (horas) |
|------------------------------------|-------------------------|
| Estudio de la propuesta de PL | 8.0 |
| Reuniones de seguimiento y control | 11.5 |
| Documentación | 44.0 |
| Generación de material adjunto | 6.5 |
| <i>Esfuerzo total</i> | <i>70.0</i> |

A pesar de que se recomienda fuertemente generar el PL desde las etapas más tempranas y a lo largo de toda la realización del experimento, hacerlo en etapas posteriores también resulta beneficioso. Por un lado, permite realizar un análisis post-mortem del experimento, mejorando la documentación generada y permitiendo reflexionar sobre aspectos no considerados. Esto genera un compendio de lecciones aprendidas que ayudarán a mejorar los resultados en las futuras replicaciones con menos esfuerzo y más precisión.

Las revisiones que se realizaron en paralelo al proceso de instanciación sirvieron para mejorar el resultado final. Por una lado, se buscaba obtener un PL adecuado al experimento. Por otro lado, mantener un apego a la propuesta de PL. Estas revisiones colaboraron para mejorar la calidad del PL instanciado para el experimento InCo y aportaron sugerencias de mejora a la propuesta de PL.

Se realizó un análisis de los casos en que existían desvíos respecto a la estructura propuesta, para decidir si correspondían o no al experimento. De las 35 secciones y sub-secciones de la propuesta, 7 no fueron utilizadas o quedaron pendientes de completar, o bien porque no existía información al momento o porque no eran secciones críticas. Se agregaron 4 secciones no previstas en la estructura original. Por este motivo, se considera que la mayor parte de la propuesta fue adecuada al experimento InCo.

Desde el punto de vista de la validación de la propuesta genérica de PL, este caso de estudio ha servido para confirmar los siguientes aspectos:

- Viabilidad: fue posible instanciar un PL para un experimento concreto.

- Completitud: el PL obtenido abarca todas las actividades del proceso experimental.
- Aceptación: el resultado es potencialmente utilizable en replicaciones y mejora la organización anterior del material.

En la comparación del resultado obtenido con respecto a la propuesta original, se observa que no se han realizado cambios significativos en la estructura. Esto también se explica porque el experimento usado en este caso es relativamente similar a los usados en la serie de evaluaciones previas que dieron lugar a la propuesta. Aun así, por tratarse de una validación es deseable identificar cuáles son las mejoras potenciales para retroalimentar la propuesta original.

Los agregados más significativos al PL fueron dos: una sección sobre teoría experimental y la descripción de los parámetros de contexto. Ambos cambios fueron evaluados durante el proceso de instanciación y se consideran apropiados para incorporar a la propuesta. El único módulo no utilizado fue el de agregaciones. No existen para esta familia de experimentos estudios de este tipo, pero se considera apropiado prever en la estructura espacio para estudios secundarios en el futuro.

Durante el proceso de instanciación, la principal fuente de dudas fue la sección de replicaciones. En la propuesta de PL no quedaba claro si el objetivo de la sección era describir las replicaciones realizadas hasta el momento o preparar la sección para documentar las futuras replicaciones del experimento. Ambas cosas son necesarias, por lo que se realiza una extensión en las explicaciones de la propuesta de PL para clarificar el uso de esta sección.

Una sugerencia propuesta directamente fue la de priorizar los elementos de la propuesta genérica de PL, para distinguir los obligatorios de los opcionales. Al momento de realizar una replicación, cierta información es estrictamente necesaria, mientras otra agrega información de contexto. También se ha sugerido marcar en la estructura de PL los elementos que son aplicables a distintos tipos de estudios empíricos, no únicamente a experimentos controlados. Ambas sugerencias se consideran apropiadas para enriquecer la propuesta de genérica PL.

La validación permitió comprobar que la propuesta de PL es adecuada en términos generales para experimentos controlados. Sin embargo, se percibe que utilizarla para otro tipo de estudios empíricos (por ejemplo: cuasi-experimentos o casos de estudio) puede requerir modificaciones en la estructura. En estudios donde no existe un control completo de las variables, las secciones relativas al diseño experimental y el análisis estadístico deben ser reestructuradas. En cambio, los aspectos teóricos o educativos, podrían permanecer sin cambios en estos casos.

5. Conclusiones

En este trabajo se presenta un caso de estudio sobre la construcción de un PL para un experimento controlado de IS. El objetivo del estudio fue validar

una propuesta genérica de PL para familias de experimentos, además de obtener una instancia de PL para el experimento concreto.

Para realizar la instancia del PL se siguió un proceso definido que incluyó actividades de revisión, verificación y validación de los resultados. El esfuerzo total para la realización del PL fue de 70 horas. Se realizaron 10 reuniones de seguimiento entre el autor de la propuesta de PL y la investigadora responsable de la instanciación.

Como resultado del estudio se ha confirmado la viabilidad y completitud de la propuesta de PL. Se ha obtenido un documento que abarca las distintas actividades del proceso experimental y contiene el conocimiento relativo al experimento en una única estructura. Mediante la validación externa del PL instanciado se ha comprobado su aceptación para uso futuro en replicaciones. El proceso aplicado deja una lista de lecciones aprendidas sobre la instanciación de experimentos y sugerencias para la mejora de la propuesta de PL en el futuro.

También se ha observado que es posible instanciar un PL trascurrido un tiempo luego de realizado el experimento. Sin embargo, recomendamos fuertemente recopilar la información necesaria durante el proceso de experimentación. La estructura de la propuesta de PL puede ser utilizada como guía para recoger este conocimiento durante la realización del experimento.

Como trabajo a futuro queda pendiente la incorporación de la replicación realizada en 2009 del experimento InCo. Esta incorporación permitirá evaluar el impacto en la propuesta al momento de agregar dicha información a un PL ya instanciado.

Otra de las líneas futuras para esta investigación es la validación de la propuesta de PL para otros estudios empíricos y escenarios de uso que sean progresivamente diferentes al del experimento InCo. Por ejemplo, se debe estudiar la instanciación de PL para cuasi-experimentos y otros estudios empíricos. También se debe considerar el uso del PL en un contexto distinto al de la replicación, por ejemplo, en la agregación de resultados de varias replicaciones.

Referencias

1. Apa, C.: Diseño y Ejecución de un Experimento con 5 Técnicas de Verificación Unitaria. Tesis de fin de carrera, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay (2009)
2. Apa, C., Robaina, R., De León, S., Vallespir, D.: Conceptos de ingeniería de software empírica. Reporte técnico 10-02 InCo PEDECIBA-Informática 0797-6410, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay (2010)
3. Basili, V.R.: Evolving and packaging reading technologies. *Journal of Systems and Software* 38(1), 3-12 (1997)
4. Basili, V.R., Shull, F., Lanubile, F.: Building knowledge through families of experiments. *IEEE Transactions on Software Engineering* 25(4), 456-473 (1999)
5. Brooks, A., Daly, J., Miller, J., Roper, M., Wood, M.: Replication of experimental results in software engineering. Tech. rep., International Software Engineering Research Network (ISERN) (1996)
6. Campbell, D.T., Stanley, J.: *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Wadsworth Publishing (1963)

7. De León, S., Robaina, R.: Análisis de la Efectividad y el Costo de 5 Técnicas de Verificación. Tesis de fin de carrera, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay (2009)
8. Green, B., Basili, V., Green, S., Laitenberger, O., Lanubile, F., Shull, F., Sorumgard, S., Zelkowitz, M.: Packaging researcher experience to assist replication of experiments. Tech. rep., International Software Engineering Research Network (ISERN) (1996)
9. Jedlitschka, A., Pfahl, D.: Reporting guidelines for controlled experiments in software engineering. In: ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering (2005)
10. Juristo, N., Moreno, A., Vegas, S., Solari, M.: In search of what we experimentally know about unit testing. *IEEE Software* 23(6), 72–80 (2006)
11. Juristo, N., Moreno, A.M.: Basics of Software Engineering Experimentation. Springer (2001)
12. Juristo, N., Vegas, S.: Using differences among replications of software engineering experiments to gain knowledge. *Empirical Software Engineering and Measurement* pp. 356–366 (2009)
13. Mendonça, M., Cruzes, D., Dias, J., de Oliveira, M.C.F.: Using observational pilot studies to test and improve lab packages. In: ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering (2006)
14. Shull, F., Basili, V., Carver, J., Maldonado, J.C., Travassos, G.H., Mendonca, M.: Replicating software engineering experiments: addressing the tacit knowledge problem. In: ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering. Nara, Japón (2002)
15. Shull, F., Singer, J., Sjoberg, D.I.K. (eds.): Guide to Advanced Empirical Software Engineering. Springer, London (2008)
16. Solari, M., Vegas, S.: Classifying and analysing replication packages for software engineering experimentation. In: 7th International Conference on Product Focused Software Process Improvement (PROFES 2006) - Workshop Series in Empirical Software Engineering (WSESE). Amsterdam, Países Bajos (2006)
17. Solari, M.: Propuesta de paquete de laboratorio. Borrador en proceso de validación, Universidad ORT Uruguay (2010), <http://www.ort.edu.uy/fi/publicaciones/ingsoft/investigacion/publicados/DesarrolloPropuestaPL.pdf>
18. Vallespir, D., Apa, C., De León, S., Robaina, R., Herbert, J.: Effectiveness of five verification techniques. In: XXVIII International Conference of the Chilean Computer Society (October 2009)
19. Vallespir, D., Bogado, C., Moreno, S., Herbert, J.: Comparando las técnicas de verificación todos los usos y cubrimiento de sentencias. In: Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. Mérida, Yucatán, México (2010)
20. Vallespir, D., Herbert, J.: Effectiveness and cost of verification techniques: Preliminary conclusions on five techniques. In: Mexican International Conference on Computer Science. pp. 264–271. Ciudad de México (México) (September 2009)
21. Vegas, S., Juristo, N., Moreno, A., Solari, M., Letelier, P.: Analysis of the influence of communication between researchers on experiment replication. In: ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering (2006)