



Convocatoria de ayudas de Proyectos de Investigación Fundamental no orientada

MEMORIA TÉCNICA PARA PROYECTOS TIPO A o B

1. RESUMEN DE LA PROPUESTA (Debe rellenarse también en inglés)

INVESTIGADOR PRINCIPAL: Ernesto Pimentel Sánchez

TÍTULO DEL PROYECTO:

SOFIA: Optimización y Orquestación de Servicios en Aplicaciones de Internet del Futuro

RESUMEN

(breve y preciso, exponiendo solo los aspectos más relevantes y los objetivos propuestos)

En estos últimos años, nuestra vida cotidiana ha sufrido un gran cambio debido a los servicios Web; muestra de ello es la participación masiva de los usuarios en las redes sociales y el uso extendido de teléfonos inteligentes (*smartphones*). Sin embargo, y pese a la potencial interconectividad de estos servicios y su acceso ubicuo, no se han llegado a explotar convenientemente las sinergias entre ellos debido a diversas razones como la fragmentación del mercado, las incompatibilidades existentes entre diferentes servicios y los errores intrínsecos a cualquier desarrollo software de cierta complejidad. El objetivo general de la presente propuesta es la creación de una plataforma que permita el desarrollo optimizado y certificado de orquestadores de servicios en la Nube (*Cloud*), accedidos mediante dispositivos móviles, de acuerdo a los recursos físicos del terminal (memoria, red, energía, etc.), y a los servicios Web accedidos (aplicaciones o redes sociales). La plataforma proporcionará una funcionalidad que extiende a los entornos de desarrollo de aplicaciones software tradicionales, tanto por el valor añadido de los servicios ofertados en la Nube, como por la generación óptima y fiable de dichos servicios a partir de mecanismos formales. Los servicios serán accesibles a través de una interfaz intuitiva basada en los modelos abstraídos de los servicios. Para alcanzar tal objetivo, la plataforma se construirá en base a tres módulos o capas. Dado que la meta principal es optimizar la manera de ofrecer los mejores recursos de la Nube al menor coste, en una primera capa se realizará un análisis de los parámetros monitorizados (del terminal móvil, acceso a la nube a través del operador y funcionalidades en la ejecución en la nube) a fin de optimizar el rendimiento y la calidad del servicio en general. Este análisis permitirá, en una segunda capa, la síntesis de orquestadores dinámicos que podrán variar en tiempo de ejecución en función de los cambios del contexto (tanto del dispositivo móvil como del usuario y del entorno), facilitando el descubrimiento, la composición (entendida ya sea como orquestación o como coreografía), la monitorización, la adaptación y la reconfiguración de los servicios seleccionados según la optimización previa. Finalmente, en una tercera capa de la plataforma, y en paralelo durante la síntesis de orquestadores, se verificarán propiedades funcionales y no funcionales de dichos orquestadores mediante diversas técnicas formales (considerando sistemas discretos, híbridos o estocásticos), soportando no sólo una verificación estática, sino también una verificación en tiempo real.

PROJECT TITLE:

SOFIA: Service Optimization and Orchestration in the Future Internet Applications

SUMMARY:

(brief and precise, outlining only the most relevant topics and the proposed objectives)

Our daily life has changed thanks to Web services, being social networks and smartphones the most recent examples. Nonetheless, even though services are potentially interconnected and ubiquitously accessible, their synergies are not exploited due to market fragmentation, incompatibility and bugs which naturally creep into products of certain complexity. The main goal of this proposal is to create a platform to support the development of orchestrators of Cloud services. The development process focusses on the optimization and certification of such orchestrators. Both the platform and the developed service orchestrators (which are also services themselves) will be accessible from mobile devices and will be tailored to their physical resources (memory, network, energy, etc.) and to the orchestrated Web services (Web applications and social networks). This platform will extend traditional software development environments both by the added-value provided by the services offered in the Clouds and by the generation of optimal and reliable services by means of formal methods. The synthesized services and orchestrators will be accessible through an intuitive interface based on the abstract models corresponding to the services. To fulfill such goal, the platform will be built in three modules or layers. In the first step, performance and QoS in general will be monitorized and analyzed in order to offer optimal services, spending the fewest resources at the lowest cost. This analysis will support a second layer in charge of synthesizing dynamic orchestrators. These orchestrators could evolve over run time to adapt themselves to changes in context (due to the mobile device, user preferences or their environment). This evolution will empower the discovery, adaptability and reconfiguration of services. Finally, on the third layer of the platform, functional and non-functional properties will be verified during the synthesis process, both statically and at runtime, by means of different formal techniques (both considering discrete systems, hybrid systems, or stochastic ones).

ÍNDICE

1. RESUMEN DE LA PROPUESTA

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Motivación y finalidad del proyecto

2.2. Antecedentes y estado actual de los conocimientos científico-técnicos

2.2.3 Certificación y fiabilidad del software

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1. Describir brevemente las razones por las cuales se considera pertinente plantear esta investigación y, en su caso, la hipótesis de partida en la que se sustentan los objetivos del proyecto

3.2. Indicar los antecedentes y resultados previos, del equipo solicitante o de otros, que avalan la validez de la hipótesis de partida

3.3. Enumerar brevemente, pero con claridad, precisión y de manera realista (es decir, acorde con la duración prevista del proyecto) los objetivos concretos que se persiguen. La novedad y relevancia de los objetivos (así como la precisión en la definición de los mismos) se mencionan explícitamente en los criterios de evaluación de las solicitudes

3.3.1. Monitorización en redes móviles y generación de modelos

3.3.2. Síntesis y optimización de servicios y orquestadores

3.3.3. Certificación y fiabilidad de servicios y orquestadores

3.3.4. Aplicación y validación de orquestadores de servicios en la Internet del Futuro

4. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

4.1. Metodología general

4.2. Plan de trabajo y descripción de actividades

Paquete de Trabajo PT0: Coordinación, gestión y difusión del proyecto

Paquete de Trabajo PT1: Monitorización en redes móviles y generación de modelos

Tarea T1.1: Monitorización de la información de contexto

Tarea T1.2: Generación de modelos de comportamiento extendidos

Paquete de Trabajo PT2: Síntesis y optimización de orquestadores de servicios

Tarea T2.1: Mecanismos de descubrimiento y composición de servicios en la nube

Tarea T2.2: Síntesis automática de orquestadores de servicios

Tarea T2.3: Optimización de parámetros de servicios y orquestadores

Paquete de Trabajo PT3: Certificación y fiabilidad de servicios y orquestadores

Tarea T3.1: Técnicas de análisis para modelos con información temporal y estocástica

Tarea T3.2: Certificación basada en modelos

Tarea T3.3: Certificación basada en la ejecución de los servicios y aplicaciones

Paquete de Trabajo PT4: Aplicación y validación de orquestadores de servicios en la Internet del Futuro. Un caso práctico en redes sociales

Tarea T4.1: Recolección de requisitos para la aplicación

Tarea T4.2: Validación y evaluación de los orquestadores optimizados y certificados

4.3. Modelo de cronograma (orientativo)

5. BENEFICIOS DEL PROYECTO, DIFUSIÓN Y EXPLOTACIÓN, EN SU CASO, DE LOS RESULTADOS

5.1. Beneficios

5.2. Plan de difusión y, en su caso, de explotación, de los resultados del proyecto

6. HISTORIAL DEL EQUIPO SOLICITANTE EN EL TEMA PROPUESTO

6.1. FINANCIACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA (PROYECTOS Y CONTRATOS DE I+D+i) DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO INVESTIGADOR

7. CAPACIDAD FORMATIVA DEL PROYECTO Y DEL EQUIPO SOLICITANTE

Referencias

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Motivación y finalidad del proyecto

Motivación

La vida cotidiana de los usuarios de Internet ha sufrido un gran cambio en los últimos tiempos debido a los servicios Web; muestra de ello es la participación masiva en las redes sociales y el uso cada vez más extendido de teléfonos inteligentes (*smartphones*). Sin embargo, y pese a la potencial interconectividad de estos servicios y su acceso ubicuo, aún no se han llegado a explotar convenientemente las sinergias que pueden ofrecer cuando se combinan, debido a diversas razones como la fragmentación del mercado, las incompatibilidades existentes entre diferentes servicios y los errores intrínsecos a cualquier desarrollo software de cierta complejidad. Existen también factores que dificultan un acceso adecuado a los servicios, que dependen de determinadas condiciones de contexto, en algunos casos no predecibles en el momento del diseño. De este modo, es habitual que algunos servicios detecten el tipo de dispositivo desde el que se está realizando el acceso (móvil o de sobremesa), lo que les permite ofrecer interfaces distintas que se adapten a las circunstancias. Sin embargo, existen otros parámetros, dependientes también del contexto (como ancho de banda, nivel de carga de la batería, memoria disponible, etc.), más difíciles de prever de forma estática y para cuya adaptación aún es necesario encontrar soluciones adecuadas.

Por otro lado, desde la perspectiva de los servicios que se ofertan a los clientes o usuarios, también nos encontramos con una amplia variedad de situaciones: desde aplicaciones que demandan un alto nivel de cómputo, hasta servicios de acceso a redes sociales poco exigentes; software que se ha de ejecutar en el propio dispositivo, frente a actividad computacional que se realiza en la Nube; ámbitos en los que se necesitan políticas de seguridad/privacidad exigentes, no comparables con las esperadas en otros dominios de aplicación; etc. Más aún, en la mayoría de los casos, lo más conveniente será componer servicios de uno y otro tipo, haciéndose necesario optimizar su orquestación para satisfacer y adaptarse a los requisitos del cliente.

De este modo, se abren tres líneas de actuación muy interesantes y prometedoras en el ámbito de los servicios y aplicaciones de Internet del Futuro, como son la monitorización de los parámetros de contexto (imprescindible para determinar la calidad de los servicios que se pueden prestar), la orquestación de los servicios existentes (atendiendo a la información obtenida en la monitorización) y la certificación de las soluciones sintetizadas (para garantizar que la calidad del servicio, en el contexto en el que se produce, es la esperada o exigida).

Finalidad

El objetivo general de la propuesta es la creación de una plataforma que permita el desarrollo optimizado y certificado de orquestadores de servicios en la Nube (*Cloud*), accedidos mediante dispositivos móviles, de acuerdo a los recursos físicos del terminal (memoria, red, energía, etc.), o a los servicios Web accedidos (aplicaciones o redes sociales). La plataforma proporcionará una funcionalidad que extiende a los entornos de desarrollo de aplicaciones software tradicionales, tanto por el valor añadido de los servicios ofertados en la Nube, como por la generación óptima y fiable de dichos servicios a partir de mecanismos formales. Los servicios serán accesibles a través de una interfaz intuitiva basada en los modelos abstraídos de los servicios.

Para alcanzar tal objetivo, la plataforma se construirá en base a tres módulos o capas. Dado que la meta principal es optimizar la manera de ofrecer los mejores recursos de la Nube al menor coste (en términos de consumo de recursos,

como batería, memoria, tiempo de acceso, etc.), en un primer nivel se realizará un análisis de optimización de los parámetros monitorizados (del terminal móvil, acceso a la nube a través del operador y funcionalidades en la ejecución en la nube). Este análisis permitirá, en una segunda capa, la síntesis de orquestadores dinámicos, que podrán variar en tiempo de ejecución en función de los cambios del contexto (tanto del dispositivo móvil como del usuario y del entorno), facilitando el descubrimiento, la composición (entendida ya sea como orquestación o como coreografía), la monitorización, la adaptación o la reconfiguración de los servicios seleccionados según la optimización previa. Finalmente, en una tercera capa de la plataforma, y en paralelo durante la síntesis de orquestadores, se verificará mediante diversas técnicas formales (sistemas discretos, híbridos o estocásticos), diversas propiedades funcionales y no funcionales de dichos orquestadores, soportando no sólo una verificación estática, sino también una verificación en tiempo real.

2.2. Antecedentes y estado actual de los conocimientos científico-técnicos

En esta sección describimos brevemente los antecedentes y el estado actual de los conocimientos científico-técnicos relativos a cada una de las líneas temáticas que se van a desarrollar en el proyecto.

2.2.1 Monitorización en redes móviles y generación de modelos de comportamiento

La calidad de servicio ha sido siempre uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño, despliegue y optimización de las redes de comunicación. La actual evolución de las redes de comunicación, tanto fijas como inalámbricas y celulares, para dar soporte a los nuevos servicios y el crecimiento del número de usuarios hace necesario que las prestaciones de la red sean, monitorizadas continuamente [ITUE500, TS32401] extrayendo patrones de comportamiento, de forma que se puedan identificar posibles problemas de red o parámetros susceptibles de ser modificados para mejorar la calidad de servicio ofrecida.

Técnicas de monitorización en sistemas móviles

Las dos técnicas empleadas tradicionalmente para la medida del rendimiento de una red de telefonía móvil son las medidas a nivel de red y a nivel de servicio. En las medidas realizadas a nivel de red el objetivo es que la red esté operando en un punto óptimo, sin tener en cuenta los servicios concretos que proporciona. En las medidas a nivel de servicio el objetivo es caracterizar el rendimiento de un determinado servicio en toda la red (GSM, GPRS, 3G). Estas medidas se realizan con diferentes métodos, como la elaboración de estadísticas en los elementos de red o el sondeo en diferentes interfaces. Estas dos formas de medir el comportamiento de la red son útiles para optimizar los recursos del operador. Sin embargo, no garantizan una experiencia óptima a nivel de usuario, ni tienen en cuenta los aspectos relacionados con la adaptación del acceso a través de dispositivos móviles en función del contexto a los servicios alojados en la nube, aspectos todos ellos que se plantean en este proyecto. Por consiguiente, este proyecto no se centra en la monitorización del rendimiento en la red de acceso móvil como tal, si no en la calidad que aprecian los usuarios en cada uno de los servicios que utilizan. Para este fin, es necesario disponer de herramientas que ayuden a monitorizar y capturar esa percepción de usuario. Las medidas del rendimiento percibido por los clientes aportan información sobre la experiencia de los usuarios e incluye efectos que están fuera del alcance de las herramientas tradicionalmente desplegadas por los operadores a nivel de red, como por ejemplo la latencia de Internet.

Tradicionalmente, para llevar a cabo estudios del rendimiento de una red de telefonía móvil se ha venido recurriendo a simulaciones basadas en modelos. Sin embargo, mientras que para redes móviles basadas en conmutación de circuitos se dispone de fórmulas como la Erlang-B que permiten generar patrones de tráfico muy similares a los reales [BS89], en las redes móviles basadas en conmutación de paquetes estas fórmulas no existen. En una red móvil de conmutación de paquetes son muchos los factores que influyen en la experiencia final del usuario, tales como las características del enlace

radio, las políticas de encaminamiento de paquetes y la eficiencia de los protocolos usados, entre otros. Por lo tanto, la simulación en este tipo de redes se convierte en una labor muy complicada, aún sin tener en cuenta la complejidad que supone el modelado de las nuevas pilas de señalización 3G.

El efecto global de todos los factores anteriormente reseñados sobre parámetros de calidad de servicio (como tiempos de acceso, velocidades de transferencia o accesibilidad) sólo es cuantificable si se dispone de un número de medidas relevantes estadísticamente, y realizadas en condiciones radio y de carga de la red reales. Este hecho se tendrá en cuenta durante las tareas de monitorización que se desplegarán en este proyecto.

Modelos de comportamiento de parámetros no funcionales en base a trazas reales

En la literatura al respecto existen aproximaciones que tratan de reproducir el comportamiento de parámetros no funcionales, como el retardo o las pérdidas de paquetes, basándose en trazas obtenidas en pruebas de campo reales [NSNK97]. La principal diferencia entre estas técnicas y el enfoque propuesto en este proyecto es que, mientras las primeras se limitan a reproducir las trazas obtenidas, en esta propuesta se pretende realizar simulaciones parametrizadas de modelos estadísticos que tienen por objetivo obtener un modelo o patrón de comportamiento para cada uno de los parámetros no funcionales que rodean la ejecución de las aplicaciones de un terminal móvil. Dichos patrones serán incorporados en los modelos de comportamiento de los servicios, que serán utilizados durante la fase de generación de adaptadores, optimizando así el acceso móvil a los servicios ubicados en la nube. Estos modelos serán ampliados con información obtenida en tiempo de ejecución (intervalos entre mensajes, tiempo de procesamiento de respuestas, consumos de energía, mensajes entrantes ignorados por no coincidir con el protocolo esperado, etc.). Por lo tanto, como resultado se obtendrán adaptadores más realistas de acuerdo a las necesidades requeridas en escenarios de la vida cotidiana, siendo capaces de monitorizar dinámicamente los cambios de contexto y reaccionar adecuadamente a ellos.

2.2.2 Síntesis de orquestadores de servicios y optimización de parámetros

La habilidad de construir automáticamente sistemas móviles distribuidos mediante la composición de servicios, generando cuando sea necesario orquestadores o adaptadores que coordinen los servicios ya sea individualmente o en su conjunto y monitorizando su ejecución, es un paso fundamental en el desarrollo, la integración, y el mantenimiento de dichos sistemas. La necesidad de automatizar las tareas de adaptación ha dado lugar al desarrollo de la Adaptación de Software [BBGORT06, CMP06]. Esta disciplina gestiona la interacción entre entidades a través de adaptadores, buscando la automatización del proceso de adaptación y permitiendo que los servicios con problemas de incompatibilidad interaccionen de manera correcta. Estos adaptadores se construyen automáticamente a partir de contratos de adaptación, descripciones abstractas que especifican cómo resolver los desajustes entre los interfaces de los servicios. La adaptación de software se caracteriza por procedimientos altamente dinámicos que ocurren cuando, por ejemplo, los dispositivos y las aplicaciones se mueven de red a red, modificando su comportamiento, y mejorando la flexibilidad y mantenimiento de los sistemas cuando estos evolucionan (*software evolution, resilient systems*, etc.).

Propuestas de orquestadores/adaptadores usando *model checking*

La generación de orquestadores que coordinen y adapten el sistema resolviendo incompatibilidades, cambios de requisitos y de contextos, ha dado lugar a la aparición de numerosos trabajos en la literatura. Muchas de estas propuestas se pueden clasificar en restrictivas [AINT07, BP07, NBMCC07] y generativas [BBC05, CPS08, DSW06]. Las primeras restringen el funcionamiento normal del sistema a aquellas trazas y contextos en los que se preservan las propiedades deseadas, limitando así la funcionalidad sin aportar nuevos mecanismos al sistema. Por otro lado, los orquestadores o adaptadores generativos se sintetizan con el objetivo de proporcionar la lógica adicional necesaria para cubrir posibles deficiencias e incompatibilidades entre los componentes del sistema. Los adaptadores generativos son más versátiles y

tienen más capacidad de adaptación que los restrictivos pero, en contraposición, presentan una mayor complejidad de síntesis y necesitan del desarrollo de mecanismos rigurosos de verificación y monitorización.

La generación de adaptadores también se puede clasificar, según el momento en el que se realice en adaptación tiempo de diseño [CSCCP07, CMSOCP09, P09, CCP11] y en tiempo de ejecución [HCDB99, CIJKS00, HK06]. La adaptación en tiempo de diseño no está restringida por restricciones de tiempo real. Por ello, muchas propuestas hacen uso de técnicas de model checking y exploran exhaustivamente el controlador generado. En contrapartida, la síntesis dinámica de adaptadores permite la adaptación en un rango más variado de situaciones, ya que se pueden amoldar a cada contexto. Sin embargo, los adaptadores sintetizados pueden no ser los óptimos dadas las limitaciones temporales. Los métodos formales, como el model checking, se han utilizado en diferentes trabajos para la verificación de servicios Web [BPT10, LAK10]. Habitualmente, los modelos utilizados recogen el comportamiento de los servicios para verificar que existe bloqueo. Sin embargo, con esta aproximación se dejan fuera aspectos cuantitativos, como el tiempo, que permitirían verificar propiedades relacionadas con la calidad de los servicios. Trabajos como [LSZ06] y [CDVM10] ya incluyen en el modelo del servicio el comportamiento con respecto al tiempo y verifican la comunicación se lleva a cabo en un tiempo acotado. En estos trabajos, los modelos se transforman en autómatas temporizados y posteriormente se analizan con el model checker UPPAAL [LPY97]. En el primer trabajo [LSZ06], se analiza la orquestación [CDVM10], mientras que en el segundo se analiza la coreografía. Además de la verificación de propiedades, el model checking se ha utilizado como mecanismo de síntesis en diferentes dominios. En el ámbito de los servicios web, encontramos trabajos como el de Mitra et al. [MKB07], que aborda la síntesis de coreografías de manera automática mediante I/O autómatas. Dado un conjunto de servicios se busca una coreografía que permita satisfacer un objetivo concreto.

Monitorización dinámica de los cambios de contexto sobre el adaptador

Una vez extraídos los parámetros no funcionales en las redes móviles, la adaptación dinámica de un sistema en ejecución debe seguir siendo monitorizada para detectar los cambios de contexto y poder modificar en base a dichos cambios el orquestador u adaptador generado. La información de contexto puede clasificarse en cuatro categorías principales [KH03, SAW94]: (i) contexto de usuario (perfil, preferencias, idioma, calendario, situación social o privilegios), (ii) contexto de dispositivo/computación (conectividad a la red, capacidades del dispositivo o carga del servidor), (iii) contexto de tiempo (hora actual, día, año, mes o estación), y (iv) contexto físico (localización, tiempo o temperatura). Por su naturaleza, los contextos pueden cambiar en tiempo de ejecución, por lo que tienen que ser evaluados dinámicamente durante la ejecución del sistema.

La monitorización observa los servicios durante su ejecución y controla su entorno. Dentro de la monitorización, la reconfiguración dinámica [M96] se refiere a cambios en la estructura física (inserción, eliminación o reemplazo de servicios), y en la estructura lógica (adición o supresión de interacciones en el comportamiento de los servicios) del sistema. Se han propuesto diferentes soluciones basadas en reconfiguración dinámica aplicada a sistemas distribuidos y arquitecturas software [FL10, KM90], lenguajes de coordinación [KMLA11], transformación de grafos [FL10, WLF01] o meta-modelado [KB04]. Por su parte, las técnicas de recuperación de errores [TIRL03] permiten monitorizar la gestión de fallos en la red, el sistema o los servicios, en tiempo de ejecución, consiguiendo sistemas fiables. La elección de estos mecanismos depende de los tipos de fallos y las características y requisitos del sistema. Hay dos clases principales de técnicas de recuperación de errores [LA99]: *backward* y *forward recovery*.

Un paso fundamental para la generación de adaptadores y la consecuente monitorización de la ejecución del sistema, es la selección de los componentes que en cada momento y, dependiendo de los cambios de contexto, interaccionarán en el sistema. Sólo unas pocas propuestas han abordado la compatibilidad del comportamiento en el descubrimiento de componentes o servicios considerando información de contexto [H07, SMZ07, CCP10, CCP11].

Con respecto a los meta-modelos semánticos, son útiles para la especificación y el control dinámico de cambios en parámetros como las preferencias de los usuarios y las capacidades de los servicios que interactúan en el sistema. Existen diferentes enfoques que usan tecnologías de Web Semántica para considerar capacidades semánticas, tales como WSMO [KLPF05], METEOR-S [AVMM04], o OWL-S [KFS06, LH03, MFGI06]. Estas tecnologías proponen una representación formal u ontología de un conjunto de conceptos dentro de un dominio, capturando las relaciones entre ellos. Usando ontologías, se pueden reconocer emparejamientos semánticos y no sólo diferencias sintácticas. Diversos trabajos han abordado el uso de este tipo de tecnologías para llevar a cabo síntesis de adaptadores [BHRT03, BPSKC04, BC08, BCP08, CCP11, GRR10, MFGI06, WVKT06]. Aunque algunos de los trabajos previamente citados soportan técnicas de emparejamiento semántico y/o información de contexto, sus modelos formales no siempre contemplan los cambios dinámicos, así como otro tipo de parámetros fundamentales a la hora de generar orquestadores o adaptadores automáticos, como son los requisitos de calidad del sistema, que sí se pretenden abordar en esta propuesta, ya que serán soportados por los nuevos mecanismos de monitorización definidos en el proyecto.

Optimización de parámetros

En el ámbito de la ingeniería de protocolos, las simulaciones parametrizadas son ampliamente utilizadas como medio de evaluación y optimización de un protocolo para un escenario concreto. Este tipo de análisis está soportado por varias herramientas, tanto comerciales como académicas. Por ejemplo, el simulador de redes OPNET Modeler [OPNET] permite la definición de estudios parametrizados, y la visualización de estadísticas recolectadas en las simulaciones en función de los parámetros de entrada. Aunque el simulador de redes ns-2 [NS2], muy extendido en el ámbito académico, no admite directamente este tipo de análisis, es posible extenderlo en este sentido. ANSWER [ASV09] se apoya un marco de trabajo para la recolección de datos y estadísticas [CMS11] en simulaciones ns-2, para proporcionar una herramienta de realización de simulaciones parametrizadas con este simulador de redes. Esta herramienta permite el establecimiento de criterios estadísticos para la obtención de resultados, así como la posibilidad de establecer un intervalo de confianza que debe ser alcanzado mediante la ejecución de simulaciones independientes con los mismos parámetros. En [YKKY08] se propone un marco de trabajo para la configuración adaptativa de redes en tiempo de ejecución, siguiendo un objetivo de optimización. Las redes son monitorizadas para obtener patrones de tráfico que son exportados para ser usados en simulaciones parametrizadas de ns-2. Las simulaciones se ejecutan en forma de caja negra, donde sólo se conocen los parámetros de entrada y las métricas de rendimiento. Los parámetros a su vez son seleccionados mediante un algoritmo de búsqueda.

En [CZ03] se presenta una metodología para la evaluación de la calidad percibida en llamadas VoIP mediante el uso automatizado de simulaciones. Aunque no se desarrolla explícitamente, los resultados obtenidos de este análisis pueden servir como base para la optimización de los protocolos que intervienen en la realización de las llamadas.

2.2.3 Certificación y fiabilidad del software

En los últimos años se están desarrollando técnicas automáticas para analizar la fiabilidad del software, que permiten detectar errores de funcionamiento en etapas muy tempranas del desarrollo.

Técnicas de análisis estático y dinámico

En particular, frente a los depuradores tradicionales o análisis de casos de pruebas, comienzan a destacar herramientas basadas en análisis estático y análisis exhaustivo. Por ejemplo, *SCADE suite* [SCADE] proporciona un conjunto de herramientas para la verificación de propiedades sobre modelos y posterior generación de código certificado. En este caso las propiedades se verifican en la fase de diseño y el código generado presenta el mismo comportamiento

que el modelo. En [Tal10] se presenta un enfoque que combina la exploración exhaustiva (model checking) y una técnica de búsqueda guiada denominada SCC (Search Carrying Code).

También existen técnicas de runtime checking, que se encuentran en la frontera entre el model checking y el uso de tests tradicionales, y que se basan en monitorizar la ejecución de los programas (y no los modelos) para verificar que cumplen determinadas propiedades [HG08]. Su principal ventaja es que trabajan directamente con el programa final, sin necesidad de especificar un modelo, aunque manteniendo aspectos del formalismo del model checking en la especificación de propiedades [LS08]. A cambio, la exploración no es exhaustiva, no siendo posible certificar la ausencia de errores. Buenos ejemplos de herramientas que usan estas técnicas son Java PathExplorer [HG08], HAWK [AK05], JavaMOP [CR07] o las utilidades proporcionadas por Valgrind [NS03]. En [ABGHKLPRSVW05] se combinan runtime checking, model checking y ejecución simbólica en la generación de casos de prueba.

Fiabilidad del software

Cuando el software a certificar está empujado en dispositivos móviles, la tarea de certificación resulta más difícil por múltiples motivos: se trata de dispositivos cerrados, existen diversos sistemas operativos propietarios, ofrecen menos prestaciones debido a sus recursos limitados, etc. Tradicionalmente, la fiabilidad del código se ha probado en emuladores de los terminales. Sin embargo, los emuladores presentan algunos problemas debidos principalmente a que los mecanismos de bajo nivel del emulador son llevados a cabo por el sistema operativo sobre el que se ejecuta. De esta forma, aspectos como la gestión de memoria, la concurrencia o las comunicaciones se realizan de forma diferente a la del dispositivo real, lo que puede dar lugar a discrepancias. Como complemento a la emulación del terminal, y a veces como requisito de los fabricantes, los desarrolladores recurren a entidades de certificación, como Java Verified, True BREW o Symbian Signed. En todos los casos, se limitan a chequear algunas propiedades de interés, sobre todo para evitar daños en el terminal o mala imagen de la marca. Puesto que las plataformas móviles ofrecen cada vez prestaciones más cercanas a los ordenadores, comienza a ser necesario realizar un análisis de las aplicaciones para detectar o descartar la presencia de errores o problemas de ejecución tales como mal uso de la memoria, bloqueos, falta de sincronización u otros problemas derivados de la concurrencia y la comunicación entre procesos.

Una de las técnicas más prometedoras para abordar la fiabilidad del software en terminales móviles son las técnicas formales (como el model checking [CGP99]), que explora de forma eficiente todos los posibles entrelazados del código en sus interacciones con el entorno (el usuario, el propio terminal y la red). El model checking se diseñó inicialmente para analizar modelos del software con el objetivo de detectar errores de concurrencia y comunicación. En la actualidad, varios proyectos persiguen llevar a cabo el análisis exhaustivo a nivel de código, siguiendo el enfoque denominado model checking de software (ver [HS99], [V00], [CDH00], [CGMS05], [CGM06], [HDZ00] y [HJ04]). De todos estos enfoques, resulta especialmente interesante el caso en que se considera software que contiene el uso de APIs cuya funcionalidad no puede ejecutarse directamente. En particular, el enfoque de verificación de software con APIs bien definidos descrito en [CGMS05] resulta especialmente adecuado para los objetivos de la presente propuesta. El model checking también se ha utilizado en otros aspectos de certificación, por ejemplo para generar casos de test. En [GTR07] los autores utilizan el model checker SPIN para que le generación automática de los casos de test para la composición de servicios web. Pueden encontrarse otros ejemplos de esta técnica en [P03] y [ADGHLPRV03]. Las técnicas de model checking también han sido aplicadas con éxito para la verificación de propiedades de composición de servicios [GRT06, FEKMRU07]. En [CSRR09] se propone un modelo de diseño y verificación de composición de servicios adaptativa, es decir, dependiente del contexto del usuario de los servicios, aspecto especialmente interesante para el software que se ejecuta en terminales móviles.

Un valor añadido de las técnicas de model checking y técnicas relacionadas que manipulan modelos del software es que pueden utilizarse también para el análisis de prestaciones. Por ejemplo, en [GMMR05], [GMMNP07], [MS10] y [MS10-2] se combinan las técnicas de model checking y la simulación con el clásico simulador de red ns2.

Las propuestas mencionadas hasta ahora tienen una visión discreta del software que se quiere certificar, por lo que queda fuera de la certificación aspectos como los tiempos de respuesta de las aplicaciones. Para certificar que un software cumpla este tipo de requisitos es necesario modelar el software como un sistema híbrido/probabilístico y analizarlo con algoritmos de model checking específicos para este tipo de sistemas, como los presentes en UPPAAL. Por ejemplo, en [BDKLLPY02] se modela un protocolo de audio como un sistema temporizado para verificar que funciona cuando el margen de error de la temporización es inferior a un cierto valor. Los trabajos presentados en [RVS10] y [RSV11] aplican estas técnicas al dominio de los servicios web. En [RVS10] se analiza el protocolo de transacciones atómicas de servicios web (WS-AT) con dos herramientas diferentes UPPAAL y TLC, y se destaca la capacidad de UPPAAL para verificar aspectos cuantitativos del protocolo, como la temporización o el coste. En [RVS11] se modela el protocolo de acuerdo de negocio con finalización de la coordinación (BAwCC) y diferentes medios de comunicación (sin y con pérdidas, FIFO correcto e incorrecto), analizando para los diferentes medios si el protocolo termina correctamente o si alcanza en estados erróneos.

2.3. Coincidencias con actividades de otros grupos nacionales e internacionales

Dentro del contexto nacional podemos encontrar grupos de investigación que mantienen líneas de trabajo relacionadas parcialmente con las propuestas en este proyecto, ya sea por la existencia de objetivos comunes (monitorización en redes móviles, generación de modelos, generación de orquestadores, certificación y fiabilidad del software), el uso de técnicas similares (aplicación de métodos formales a la Ingeniería del Software) o el planteamiento de dominios de aplicación parecidos (dispositivos móviles y la Internet del Futuro - redes sociales). De este modo, el grupo ELP de la Universidad Politécnica de Valencia, liderado por María Alpuente, presenta una amplia experiencia en el uso de técnicas de verificación de software declarativo, en particular, de sistemas Web. También el grupo CLIP lab de la Universidad Politécnica de Madrid e IMDEA Software, liderado por Manuel Hermenegildo, se dedica a la aplicación de técnicas declarativas para el desarrollo riguroso de software, incluyendo sistemas orientados a servicios. En la Universidad de Sevilla, el grupo de Ingeniería del Software Aplicada, liderado por Antonio Ruiz, se dedica a la ingeniería de servicios. El grupo UCASE de Ingeniería del Software de la Universidad de Cádiz, liderado por María Inmaculada Medina, está enfocado a la ingeniería de servicios, y la verificación y validación de software. Desde una perspectiva más en la línea de la ingeniería de requisitos, el grupo GESSI de la Universidad Politécnica de Cataluña, liderado por Pere Botella, incluye entre sus líneas de investigación la monitorización de servicios. Existen más grupos que están trabajando en aspectos parcialmente relacionados con la temática abordada (verificación de software, computación orientada a servicios, calidad de servicios), pero hemos mencionado los que, según nuestro conocimiento, presentan una conexión mayor. En cualquier caso, no nos consta que ninguno de ellos esté abordando desde una perspectiva similar el problema que se plantea globalmente en el proyecto.

Cabe también mencionar que la plataforma tecnológica nacional INES (Plataforma Española de Sistemas y Servicios) destaca en su Agenda Estratégica de Investigación la oportunidad de desarrollar en el tejido industrial español el desarrollo de software y servicios. En particular, se plantean como retos abordables aspectos como la integración de servicios y la gestión de la complejidad, directamente relacionados con objetivos planteados en esta propuesta.

A nivel internacional, la temática que se plantea en este proyecto está estrechamente relacionada con algunas de las líneas estratégicas planteadas en el el Reto 1: *Pervasive and Trusted Network and Service Infrastructures* del 7º Programa Marco en ICT, y más concretamente dentro de los objetivos ICT-2011.1.1: *Future Networks*, ICT-2011.1.2: *Cloud Computing, Internet of Services and Advanced Software Engineering* e ICT-2011.1.6 *Future Internet Research and Experimentation (FIRE)*. Existe una gran variedad de grupos que están trabajando en algunos de las líneas abiertas en el proyecto, pero no nos consta que se hayan dado soluciones completas a los problemas planteados.

Podemos citar algunos proyectos activos cuyos planteamientos tienen alguna coincidencia con los de esta propuesta. Así, el proyecto SocloS, propone la construcción de aplicaciones de negocio útiles y funcionales, explotando grafos

sociales en redes sociales, y pretende proporcionar herramientas para desarrollar y soportar contratos de servicios y calidad de servicios. Con objetivos similares, los proyectos I2Web y WAX proporcionarán herramientas para desarrollar servicios de Internet del Futuro, permitiendo el uso de los mismos por una amplia parte de la sociedad. Otro proyecto con objetivos y planteamientos bastante relacionados con la presente propuesta, es el proyecto OMELETTE, que se centra en proporcionar nuevas plataformas para componer servicios direccionando una abundante cantidad de usuarios.

Finalmente, es preciso mencionar que las actividades propuestas en este proyecto están particularmente vinculadas a las investigaciones de otros grupos nacionales y extranjeros, con los que el equipo solicitante del proyecto mantiene contactos de colaboración estables (que se describen con detalle en el apartado 6 de esta memoria), por lo que implican una intensa colaboración a nivel internacional y, además, conllevan un componente muy importante de formación de jóvenes investigadores y profesores.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1. Describir brevemente las razones por las cuales se considera pertinente plantear esta investigación y, en su caso, la hipótesis de partida en la que se sustentan los objetivos del proyecto

En el vigente Plan Nacional de I+D+i se contempla como objetivo general de la Acción Estratégica de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información el “*adecuado desarrollo y utilización de las Tecnologías, Aplicaciones, Servicios y Contenidos de la Sociedad de la Información para contribuir al éxito de un modelo de crecimiento económico basado en el incremento de la competitividad y la productividad, la promoción de la igualdad social y regional, la accesibilidad universal y la mejora del bienestar y la calidad de vida de los ciudadanos*”. A fin de fomentar el crecimiento económico basado en la competitividad y la productividad, es necesario proporcionar métodos de desarrollo más ágiles y eficientes acordes a las nuevas tendencias e infraestructuras. Los servicios Web, las aplicaciones en la Nube y las redes sociales son importantes motores de la sociedad de la información y, como tal, es de capital importancia acelerar y mejorar el desarrollo de nuevos servicios que orquesten, extiendan y adapten estos recursos. Así, generando aplicaciones en la nube que coordinen y exploten la funcionalidad de las variadas redes sociales, servicios de venta, logística, administración electrónica, e información al ciudadano, se obtendrá un valor añadido y una mayor visibilidad de los productos resultantes, mejorando el bienestar de los ciudadanos. Además, estos servicios que a su vez potencian el desarrollo, composición y acceso a otros servicios deben de estar disponibles en un amplio abanico de dispositivos, ofertando así su disponibilidad en todos los ámbitos de la vida diaria. Por ello, se hace especial hincapié en la certificación de dichos servicios (a fin de promover la confianza del ciudadano), la optimización de los servicios al contexto del ciudadano (para mejorar la calidad de uso y la satisfacción general del usuario) y, finalmente, la accesibilidad y disponibilidad de estos servicios pues pueden ser aprovechados por ordenadores, tabletas y móviles al ser ejecutados en las nubes. Precisamente, estos aspectos son los que pretenden abordarse en la presente propuesta, utilizando un enfoque riguroso (aplicando de forma ágil técnicas formales bien consolidadas y proponiendo enfoques novedosos). La oportunidad de financiar proyectos de esta naturaleza (tanto en términos de sus objetivos, como de su enfoque) es, por lo tanto, muy alta, y forma parte de la estrategia en política científica que muestra el vigente Plan Nacional de I+D+i. Con ello se puede conseguir una alta competitividad de grupos nacionales a nivel internacional en temas emergentes como los propuestos.

3.2. Indicar los antecedentes y resultados previos, del equipo solicitante o de otros, que avalan la validez de la hipótesis de partida

La experiencia previa de los miembros del equipo avalan la validez del punto de partida de la propuesta, ya que el grupo cuenta con investigadores que han trabajado en el desarrollo de técnicas para la construcción de software fiable, otros más enfocados a la Ingeniería de Servicios Software y algunos que desarrollan su labor en el ámbito de la telefonía móvil. El proyecto ReSCUE (TIN2008-05932), así como otros proyectos previos del equipo solicitante (CARESS, TIN2007-67134, y SELF, TIN2004-07943-C04-01), suponen el marco general en que los miembros del equipo han venido desarrollando sus investigaciones más recientes. El último de ellos, el proyecto ReSCUE, ha estado orientado a la definición de un entorno de desarrollo para la composición de software fiable sobre dispositivos móviles para computación ubicua, siguiendo un enfoque basado en métodos formales ágiles (*lightweight*,) como viene siendo habitual en las actividades previas del equipo. Gran parte de los resultados que se han obtenido en ese proyecto constituyen la base para los que se plantean en esta propuesta. Los principales resultados alcanzados por el equipo participante en proyectos previos, relacionados con la

temática de esta solicitud como muestran el hecho de que buena parte de las referencias en la sección de antecedentes corresponden a miembros del equipo, se resumen como sigue.

Monitorización y técnicas de optimización por objetivos

Las herramientas SymPA [DMR10a] y TestelDroid [ADMR12] han sido desarrolladas por el equipo solicitante para la monitorización del rendimiento [DMR10b] y el consumo energético [DM10] de los servicios de datos en redes celulares. En el presente proyecto se ampliarán las capacidades de monitorización de tales herramientas para incorporar aquellos parámetros que conforman el concepto de *contexto* definido por Dey y Abowd en [DA00]. La información recopilada por estas herramientas será clave para llevar a la práctica, dentro de este proyecto, las técnicas de descubrimiento, composición y adaptación de servicios dependientes del contexto definidas en trabajos previos del grupo [CCP10, CCP11, CMSCOCP09, CSCCP07, CSRR09], que han supuesto un avance inicial para soportar la computación dependiente del contexto en sistemas móviles y ubicuos dentro del ámbito actual de las aplicaciones desarrolladas en la Internet del Futuro. La generación de los modelos y patrones de comportamiento de los parámetros no funcionales se llevarán a cabo aplicando como base las técnicas de optimización orientadas por objetivos utilizadas en trabajos previos del grupo [MS11, DMS11].

Síntesis de adaptadores y optimización de parámetros de servicios

Las primeras propuestas del equipo de investigación solicitante relativas al desarrollo de mecanismos para la selección, orquestación o adaptación y monitorización de interfaces de servicios móviles, haciendo uso de modelos formales, han sido publicadas en los trabajos [CMSCOCP09, CCP11]. Sólo cierta información contextual es tenida en cuenta en estos trabajos, por lo que se pretende extender los modelos formales existentes para mejorar los mecanismos de adaptación. A su vez también se ha afrontado la especificación de contratos de adaptación con seguridad [MP10a], la síntesis y verificación de orquestadores seguros conformes a dichos contratos y el descubrimiento dinámico de servicios [MP10b, CCP10]. Además, tras estudiar las propuestas existentes para la generación de orquestadores o adaptadores [SMZ07, BPSKC04, CCP11, GRR10, WVKT06], se detecta que es necesario combinar esfuerzos para definir un modelo formal que contemple los cambios dinámicos en el sistema, haciendo uso de la especificación del comportamiento, la descripción semántica y la información de contexto como aspectos de calidad de servicio. También se plantea el uso de técnicas de model checking para verificar propiedades sobre el modelo especificado, así como los adaptadores definidos.

En cuanto a optimización de parámetros, el equipo solicitante ha realizado trabajos relacionados con la optimización de aplicaciones de vídeo para móviles [MS10, MS-10]. En ellos se ha desarrollado un prototipo de herramienta que combina el model checker Spin [H03] con el simulador de redes ns-2 [NS2], para la optimización de parámetros guiada por objetivos descritos mediante lógica temporal y comprobados por Spin sobre las simulaciones en ejecución.

Certificación y fiabilidad del software

El equipo solicitante tiene una amplia experiencia en el uso de técnicas formales, y más concretamente de model checking para la generación de modelos y la verificación de propiedades. Dicha experiencia se puede clasificar en cuatro áreas: en primer lugar, la extracción de modelos ([CGMS09, CCGM10]); por otro lado, la verificación de propiedades de tiempo real ([AGPV05, AGPV06]), seguidamente, la verificación de propiedades mediante técnicas de runtime verification [AGPS11], y por último, la verificación de propiedades sobre estructuras de memoria dinámica ([GMS09, GS10]). Estos trabajos sirven de base para las tareas a realizar en el paquete de trabajo de certificación y fiabilidad del software de orquestadores.

Aplicación de orquestadores sobre escenarios de la Sociedad de la Internet del Futuro

Como acciones cercanas a aplicar y validar la generación de orquestadores, el equipo solicitante ha trabajado en la elaboración de una propuesta solicitada en la Call 8 del 7º Programa Marco ICT-2011, en el Objetivo 1.2: *Cloud Computing, Internet of Services and Advanced Software Engineering*. Dicha propuesta, titulada "LUXE: Online User eXperience: Service Customization in the Future Internet Society", se centra en construir una plataforma de servicios que extraiga, represente, procese, use y comparta información extraída por colecciones de datos de diferentes fuentes heterogéneas (redes sociales, redes de sensores, o etiquetas RFID), a través de la gestión de la composición y la orquestación de servicios enriquecidos. Ello muestra la disposición del equipo para abordar este tipo de escenarios.

3.3. Enumerar brevemente, pero con claridad, precisión y de manera realista (es decir, acorde con la duración prevista del proyecto) los objetivos concretos que se persiguen. La novedad y relevancia de los objetivos (así como la precisión en la definición de los mismos) se mencionan explícitamente en los criterios de evaluación de las solicitudes

A continuación se incluye una descripción de los objetivos concretos que se persiguen en este proyecto. Con idea de que se puedan establecer conexiones con la finalidad del proyecto, los objetivos se enumeran atendiendo a las cuatro tareas en las que se desarrollarán las actividades:

3.3.1. Monitorización en redes móviles y generación de modelos

1. Desarrollo de herramientas de monitorización del contexto.
2. Herramientas de postprocesado para el análisis de las correlaciones existentes en los parámetros de contexto monitorizados.
3. Modelos de comportamiento de los servicios, mejorados con información no funcional representativa del contexto real de ejecución en un terminal móvil.

3.3.2. Síntesis y optimización de servicios y orquestadores

4. Elaboración de una infraestructura en la Nube (incluyendo registro, búsqueda y análisis de servicios) que permita descubrir aquellos servicios susceptibles de ser orquestados.
5. Implementación de un proceso de síntesis automática de orquestadores basándose en los servicios descubiertos y una especificación de alto nivel del objetivo de la orquestación.
6. Desarrollo de prototipo para la optimización de servicios y orquestadores, con aplicación tanto en el entorno de ejecución de los mismos como en el terminal móvil.

3.3.3. Certificación y fiabilidad de servicios y orquestadores

7. Técnicas de análisis para modelos con información temporal y estocástica.
8. Desarrollo de herramientas para la certificación de aplicaciones y adaptadores basadas en modelos híbridos y/o probabilísticos.
9. Desarrollo de herramientas de certificación basadas en la ejecución real de las aplicaciones y adaptadores.

3.3.4. Aplicación y validación de orquestadores de servicios en la Internet del Futuro

10. Captura y caracterización de los requisitos más frecuentes en el desarrollo de servicios para la Internet del Futuro.
11. Desarrollo de alguna aplicación y caso de estudio en base a los requisitos con especial énfasis en las redes sociales.
12. Validación de resultados y estudio del desempeño de la propuesta.

Los antecedentes y resultados previos del equipo solicitante descritos en el apartado 3.2 cubre los tres ámbitos que abarca el proyecto (optimización, síntesis de orquestadores y certificación) lo que constituye un aval para garantizar el éxito del mismo. No obstante, el salto cualitativo en cuanto a relevancia y originalidad de la actual propuesta es considerablemente alto y suponen un paso más hacia la búsqueda de una solución global. Por un lado, gran parte de los objetivos están enfocados a la orquestación optimizada, certificada y fiable de servicios, gracias a la monitorización de la información de contexto, lo que supone el uso de técnicas sustancialmente distintas a las utilizadas hasta ahora, y por otro lado, este proyecto tiene un marcado carácter de aplicación en el dominio de las aplicaciones de Internet del Futuro, una nueva iniciativa para cubrir las necesidades globales de los negocios y la sociedad. Las aplicaciones de Internet del Futuro (como escenarios de aplicación en redes sociales), tendrán que permitir la interoperabilidad entre multitud de participantes, gestionando los cambios dinámicos y continuos, tales como, la provisión de servicios, la disponibilidad de contenidos, la conectividad de redes, la diversidad de los dispositivos de usuario, etc. En este sentido, complementando la propuesta del proyecto europeo *LUXE* mencionado en el apartado 3.2, la generación de técnicas de optimización y certificación sobre servicios y los orquestadores generados, sin duda aportará un importante valor añadido al actual estado del arte en el ámbito del uso de orquestadores de servicios. En relación al vigente Plan Nacional de I+D+i la, este proyecto pretende contribuir a los objetivos planteados en la Acción Estratégica de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, especialmente en la línea de ámbito temático relativo a la producción de "nuevos productos y sistemas de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información" (Objetivos 3.3.1-2, 3.3.1-3, 3.3.2-6, 3.3.3-8, 3.3.3-9, y 3.3.4.-11).

4. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

4.1. Metodología general

En la metodología común que se va a emplear en el proyecto podemos distinguir las siguientes fases:

- Fase de análisis. Cada actividad comienza por un estudio de los requisitos que impone su desarrollo, en base al conocimiento previo y al análisis de nueva información, tomando como base los trabajos previos desarrollados por el equipo.
- Fase de modelado. Se investiga en los modelos que configuran el soporte de cada una de las herramientas teóricas analizadas en la fase anterior. Se ponen a punto cada uno de los desarrollos parciales de cada actividad y se revisa la definición inicial respecto a los resultados obtenidos.
- Fase de desarrollo. Se trata de ir acercándose al resultado final, añadiendo los distintos desarrollos que se van experimentando e incorporando los resultados obtenidos en tareas previas o en tareas relacionadas, estimando en cada iteración la cercanía a los objetivos planteados en la tarea correspondiente.
- Fase de obtención de prototipos. En esta fase se obtienen los prototipos que se pretenden desarrollar, integrando aquellos que estén estrechamente relacionados.

El grueso de las actividades de que consta el proyecto pasa por las fases mencionadas. La interrelación entre tareas se corresponde con la secuencialidad de las mismas. El proyecto se ha dividido en cinco paquetes de trabajo: uno de coordinación, gestión y difusión y otro para cada uno de los aspectos tratados en la propuesta (monitorización en redes móviles y generación de modelos, síntesis y optimización de orquestadores de servicios, certificación y fiabilidad de orquestadores optimizados, y aplicación y validación de orquestadores de servicios en Internet del Futuro).

4.2. Plan de trabajo y descripción de actividades

A continuación, se describen las tareas previstas para cada uno de los paquetes de trabajo (PT) del proyecto. Para cada PT, describimos sus objetivos, las relaciones con otros PTs, el responsable del mismo, el equipo participante y el desglose en las tareas que lo componen. Cada tarea viene descrita por sus objetivos específicos, su duración, los participantes, el plan de trabajo concreto para su ejecución y los resultados esperados. Además de los resultados que se enumeran, hay que añadir un cierto número de comunicaciones y publicaciones que garanticen la difusión de las técnicas desarrolladas tanto a nivel académico como industrial en los más relevantes foros científicos y técnicos nacionales e internacionales. A lo largo del proyecto, hemos previsto la colaboración en las labores de desarrollo e implementación de Personal Contratado de Apoyo a la Investigación (PC1 y PC2) y también incluimos labores específicas con posibilidades de desembocar en la realización de tesis doctorales, tanto para contribuir a la formación del personal no doctor que participa en la propuesta como para los becarios en formación solicitados. Aunque el personal contratado solicitado aparece como participante en alguna de las tareas, los becarios en formación solicitados no aparecen de forma explícita. Finalmente, incluimos la planificación temporal global de todas las tareas que componen el proyecto.

Paquete de Trabajo PT0: Coordinación, gestión y difusión del proyecto

Responsable: Ernesto Pimentel

Participantes: Ernesto Pimentel, Pedro Merino, María del Mar Gallardo, Carlos Canal, Francisco Gutiérrez

Descripción:

En este módulo, se coordinan los esfuerzos y el progreso de ejecución del proyecto, controlando que se alcancen los hitos previstos. También se incluyen las actividades de difusión y explotación de resultados que se describen en la Sección 5. Además de los responsables de los paquetes de trabajo del proyecto, se tendrán en cuenta las evaluaciones que puedan ir haciendo el resto de entidades que apoyan el proyecto y los expertos que serán invitados a valorar los hitos que se alcancen.

Resultados:

R0.1. Informes anuales de seguimiento del proyecto para su evaluación por parte del Ministerio de Economía y Competitividad (3 informes).

R0.2. Informes anuales de resultados que puedan resultar explotables, acompañados de presentaciones electrónicas o demostradores (3 informes).

Paquete de Trabajo PT1: Monitorización en redes móviles y generación de modelos

Responsable: Pedro Merino

Participantes: Pedro Merino, Almudena Díaz, Alberto Salmerón, Álvaro Manuel Recio, María del Mar Gallardo, Laura Panizo, Ernesto Pimentel, Javier Cubo, J. Antonio Martín, Carlos Canal, Francisco Gutiérrez, Blas C. Ruiz , Pablo López, PC1, PC2

Descripción:

Como ya se ha mencionado, este proyecto tiene como objetivo optimizar el acceso a los servicios ubicados en la nube desde un terminal móvil desde el punto de vista de la calidad de servicio experimentada por los usuarios. En este contexto la monitorización de los aspectos relacionados con el entorno de ejecución en el terminal y la movilidad del usuario resultan clave para recopilar información sobre parámetros objetivos de rendimiento, del contexto de ejecución y parámetros relacionados con la calidad de experiencia percibida por los usuarios, en base a lo cuales realizar dicho proceso de optimización.

Este paquete de trabajo cubre los aspectos relacionados con la monitorización del entorno de ejecución de la aplicación en el terminal móvil y la generación de modelos con contenido no funcional relativos al rendimiento contextual de la aplicación. Los parámetros objeto de monitorización son aquellos relacionados con el rendimiento de la aplicación a nivel del consumo de recursos hardware, el perfil de las conexiones de datos establecidas por la aplicación, las implicaciones que su ejecución tienen a nivel del consumo energético y también los aspectos más sociales de su ejecución como los relacionados con la ubicación del terminal, franja horaria de uso y modo de funcionamiento del terminal (silencio, manos libres, etc).

Los resultados de esta monitorización serán incorporados en modelos de comportamientos de servicios existentes para que dichos modelos reflejen también parámetros no funcionales que vienen muy marcados por el acceso desde un dispositivo móvil: tiempos de acceso, anchos de banda disponibles, interfaces físicos de entrada de datos, movilidad del usuario, cambios de contexto frecuentes, etc. A su vez dicho modelos serán utilizados en la generación de mecanismos optimizados de descubrimiento de servicios en base a los parámetros de ejecución y contexto disponibles en el terminal.

Finalmente la monitorización dará soporte al paquete de trabajo 3 centrado en la verificación de los parámetros de rendimientos obtenidos una vez desplegados los mecanismos de descubrimientos optimizados para el entorno móvil y de computación ubicua.

Resultados:

R1.1 Desarrollo de herramientas de monitorización del contexto. Se diseñarán e implementarán herramientas de monitorización para la recopilación a todos los niveles de la información de contexto del terminal móvil.

R1.2 Herramientas de postprocesado para el análisis de las correlaciones existentes los parámetros de contexto monitorizados. Se implementarán herramientas de post-procesado de la información de contexto que permita extraer los patrones y parámetros diferenciadores del contexto de ejecución móvil y del acceso a servicios en la nube en condiciones de movilidad.

R1.3 Modelos de comportamiento de los servicios mejorados con información no funcional representativa del contexto real de ejecución en un terminal móvil. Finalmente se obtendrán modelos del comportamiento de servicios que incorporarán

parámetros no funcionales relativos al rendimiento y a la calidad de servicio percibida por los usuarios durante el acceso a los mismos.

Desglose en Tareas del Paquete de Trabajo PT1

Tarea T1.1: Monitorización de la información de contexto

Duración: Mes 1 de la 1ª anualidad a mes 12 de la 3ª anualidad.

Participantes: Pedro Merino, Almudena Díaz, Alberto Salmerón, Álvaro Manuel Recio, Ernesto Pimentel, Javier Cubo, Pablo López, PC1

Objetivos:

En esta tarea se identificarán los parámetros a monitorizar teniendo en cuenta los aspectos críticos que rodean a los terminales móviles y que en todo momento deben ser preservadas por las aplicaciones en ejecución: funcionamiento continuado durante largos periodos de tiempo, disponibilidad permanente del servicio de voz primario y autonomía basada en baterías. Por tanto, se monitorizarán parámetros relacionados con la calidad de servicio experimentada por los usuarios, parámetros de carácter general sobre el rendimiento del terminal y parámetros específicos de cada aplicación, tanto para adaptar el acceso al servicio como para asegurar que ninguna de los aspectos anteriormente citados como críticos se vean afectados. También se prestará especial atención a la monitorización de parámetros relacionadas con la conectividad radio del terminal, que es muy variable sobre todo en escenarios de movilidad.

Una vez identificados los parámetros se implementará el sistema de monitorización que permitirá determinar los parámetros de calidad de experiencia y el uso de los recursos del sistema operativo por parte de las aplicaciones en ejecución. Conjuntamente se monitorizará el consumo energético del terminal. De esta forma es posible extraer la relación entre el rendimiento en la ejecución y el tiempo de vida de las baterías y proponer configuraciones de compromiso entre procesamiento y consumo.

La monitorización de las comunicaciones de datos establecidas por el terminal es un factor clave para a la adaptación y descubrimiento de servicios para su acceso de un terminal móvil, debido a la alta variabilidad de las características de los enlaces radio que tienen una repercusión directa en la experiencia de usuario. Concretamente la obtención de bajos niveles de latencia es importante para la experiencia final del usuario, especialmente para ciertas clases de servicios con perfiles de interacción bidireccional en tiempo real. Por este motivo en esta tarea se estudiará el rendimiento de los protocolos basados en IP en su transporte sobre las distintas interfaces radio disponibles en un terminal móvil (GSM, UMTS, HSPA y LTE) y se analizarán parámetros como las pérdidas de paquetes, la latencia, la variación del retardo (*jitter*) y la llegada de los paquetes fuera de orden.

La calidad de la experiencia percibida por los usuarios finales está directamente influenciada por un gran número de factores que viene determinados por el propio contexto en el que se encuentre el usuario, el tipo de servicio y el tipo de terminal. En esta tarea se recopilará información de localización del terminal, de los servicios en ejecución y del uso que hace el usuario del terminal (tiempos de uso, tipos de servicios, cadencia de uso, horarios de uso, configuración del dispositivo, etc).

En esta tarea también se desarrollarán herramientas para procesamiento de las medidas multipunto obtenidas durante la monitorización. Dichas herramientas permitirán combinar la información recopilada en los distintos puntos de

monitorización, gestionar el tipo de medidas que se necesita realizar, diagnosticar malfuncionamientos de la aplicación o del dispositivo y visualizar los resultados finales del proceso de monitorización multipunto.

Resultados:

Los resultados de esta tarea ayudarán a proporcionar una gran visibilidad sobre el rendimiento de las aplicaciones y del propio terminal, lo que permitirá implementar políticas de adaptación y de descubrimiento de servicios orientados a optimizar la calidad de experiencia y adecuados a los recursos disponibles en el terminal, sin interferir con su funcionamiento normal.

Plan de trabajo:

Se adaptarán las herramientas de monitorización implementadas por el grupo de investigación para la monitorización de la calidad de servicio en redes celulares a la monitorización del contexto tal y como se define en el mundo de los servicios y aplicaciones Web. A continuación se desarrollarán herramientas para el almacenamiento y el procesado de la información recopilada por dichas herramientas de forma que su manejo sea sencillo y ordenado, ya que se trata de grandes volúmenes de información que deben ser convenientemente procesados para extraer y clasificar los parámetros que serán necesarios en la tarea de generación de modelos. Estas dos actividades se llevarán a cabo durante los primeros 9 meses del proyecto. Sin embargo, su uso se extenderá a lo largo de toda la duración del mismo, ya que la información de contexto monitorizada es la base para el resto de actividades que se llevarán a cabo en el proyecto, y tanto para la fase de validación como para la mejora de los mecanismos de adaptación obtenidos será necesario realizar constantes monitorizaciones.

Tarea T1.2: Generación de modelos de comportamiento extendidos

Duración: Mes 4 de la 1ª anualidad a mes 12 de la 2ª anualidad.

Participantes: María del Mar Gallardo, Laura Panizo, Ernesto Pimentel, Javier Cubo, J. Antonio Martín, Carlos Canal, Francisco Gutiérrez, Blas C. Ruiz, PC2

Objetivos:

En esta tarea se generarán modelos formales que contemplarán los cambios dinámicos de la aplicación haciendo uso de especificaciones de comportamiento y descripciones semánticas. Dicho modelo incluirá la semántica necesaria para que sea posible la síntesis de adaptadores y la verificación formal del sistema. La información de contexto será también incorporada en dichos modelos. En este sentido se explorarán técnicas de ampliación de modelos de comportamiento con información no funcional del contexto obtenida durante la monitorización llevada a cabo en el dispositivo móvil.

Para la ampliación de los modelos con información no funcional es necesario extraer los patrones de comportamiento de los parámetros no funcionales a partir de las trazas obtenidas durante la monitorización. Para obtener dichos patrones se aplicarán técnicas como las empleadas en [MS10] [DMS11] basadas en el uso de model checking para realizar la selección de modelos parametrizados de parámetros del contexto que representen los patrones de parámetros no funcionales del acceso a los servicios desde el dispositivo móvil. Una vez obtenidos dichos patrones serán incorporados a los modelos funcionales de las aplicaciones para que estos contemplen los comportamientos realistas de las aplicaciones en escenarios móviles.

Resultados:

Los modelos obtenidos en esta tarea serán utilizados en la síntesis y optimización de adaptadores que se llevará a cabo en el paquete de trabajo PT2.

Plan de trabajo:

Se estudiarán las trazas y resultados proporcionadas por la tarea de monitorización para comprobar que recopilan toda la información necesaria para caracterizar los parámetros no funcionales que vienen marcados por el contexto. En paralelo se obtendrán los modelos de comportamiento de los servicios bajo estudio. Seguidamente se procederá a extender dichos modelos con la información reportada por la tarea 1.2. Esta información será utilizada para la generación de los patrones de comportamiento de los parámetros no funcionales. Dichos patrones serán incorporados en los modelos de comportamiento. Los modelos resultantes denominados modelos de comportamiento extendidos serán usados en el paquete de trabajo 2 para llevar a cabo la optimización de la adaptación de servicios.

Paquete de Trabajo PT2: Síntesis y optimización de orquestadores de servicios

Responsable: Carlos Canal

Participantes: Ernesto Pimentel, Javier Cubo, J. Antonio Martín, Carlos Canal, Pedro Merino, Alberto Salmerón, María del Mar Gallardo, Francisco Gutiérrez, Blas C. Ruiz, Pablo López, Ana Roldán, Jose L. Pastrana, PC1

Descripción:

El objetivo de este módulo es el estudio y unificación de lenguajes de especificación que cubran los niveles y vistas de los requisitos de los sistemas móviles y empotrados con el fin de permitir un desarrollo basado en modelos. Dicho modelo incluirá la semántica necesaria para que sea posible la síntesis de adaptadores y la verificación formal del sistema. Este desarrollo hará uso de técnicas de model checking, satisfacibilidad lógica y demostraciones formales de propiedades inherentes al modelo.

En este módulo, nos centramos en la generación de orquestadores o adaptadores dinámicos. En este contexto, hay que hacer especial hincapié en recoger y analizar las preferencias del usuario así como los requisitos del sistema. Es necesario combinar esfuerzos para definir un modelo formal que contemple los cambios dinámicos en el sistema, haciendo uso de la especificación del comportamiento, la descripción semántica y la información de contexto.

También hay que monitorizar las capacidades de los servicios, verificar que los objetivos se cumplen, sintetizar un plan de adaptación que reconfigure el sistema a los cambios de contexto, y manejar al mismo tiempo distintos niveles de seguridad acordes a la sensibilidad de los datos y operaciones en cada momento.

Los modelos obtenidos en la tarea T1.2 ayudarán a la síntesis de orquestadores, cubriendo aspectos que no son manejables con las descripciones de modelos actuales (tales como redes de Petri, álgebras de proceso, o sistemas de transiciones) mediante los cuales se abstraen las especificaciones de los servicios Web implementados en diferentes lenguajes (BPEL o BPMN) o plataformas industriales reales (WF/.NET). Además, se podrá llevar a cabo verificación de propiedades sobre dichos modelos, usando técnicas de model checking. Por otro lado, los aspectos más cercanos a la simulación de protocolos (como probabilidades) de los modelos generados previamente serán usados para optimizar parámetros sobre la síntesis de tales adaptadores.

Resultados:

R2.1 Elaboración de una infraestructura en la nube (registro, búsqueda y análisis de servicios) que permita descubrir aquellos servicios susceptibles a ser orquestados.

R2.2 Realizar un proceso de síntesis automática de orquestadores basándose en los servicios descubiertos y una especificación de alto nivel del objetivo de la orquestación.

R2.3 Desarrollo de herramientas para la optimización de servicios y orquestadores, con aplicación tanto el entorno de ejecución de los mismos como en el terminal móvil.

Desglose en Tareas del Paquete de Trabajo PT2

Tarea T2.1: Mecanismos de descubrimiento y composición de servicios en la nube

Duración: Mes 6 de la 1ª anualidad a mes 12 de la 2ª anualidad.

Participantes: Ernesto Pimentel, Javier Cubo, J. Antonio Martín, Francisco Gutiérrez, Blas C. Ruiz , Pablo López, Ana Roldán, Jose L. Pastrana

Objetivos:

El descubrimiento de servicios puede definirse como la habilidad de encontrar los servicios más adecuados con respecto a una petición concreta. En esta tarea, trataremos de proporcionar un servicio de descubrimiento de las necesidades requeridas en cada momento por el usuario, atendiendo a los parámetros y recursos monitorizados inicialmente en el paquete de trabajo PT1, que incluye tanto los recursos y limitaciones del dispositivo móvil de acceso, como las preferencias del usuario, su localización, etc., así como la información externa que pueda modificar la situación y decisión de selección de servicios en tiempo real. Por tanto, en dicho servicio de descubrimiento es esencial considerar la información del contexto del usuario, del entorno y del dispositivo (parámetros monitorizados), así como los cambios dinámicos de la misma, cuando se trata de aplicaciones desarrolladas para dispositivos móviles. De esta manera, usando la información de contexto se podrá reducir el esfuerzo humano en la interacción del usuario con el dispositivo. Sin embargo, en las actuales tecnologías de servicios Web para sistemas móviles, se ofrece poco soporte para el desarrollo de aplicaciones dependientes del contexto, así como su gestión a la hora de tomar decisiones para obtener los mejores recursos (como servicios alojados en la nube) al menor coste.

El servicio de descubrimiento se basará tanto en el contexto y los requisitos del usuario como en información recolectada por medio de servicios de redes sociales (computación social), a través de la interacción del usuario con Internet. De esta manera, no sólo se considerará el dispositivo, el entorno, y el usuario usando tal dispositivo, sino que también se tendrán en cuenta las interacciones y opiniones de otros usuarios a través de las redes sociales. Esto generará un conocimiento extra con respecto a las necesidades cambiantes de los negocios y de la sociedad, en las que hoy día las redes sociales suponen un avance y un punto de recopilación de información dinámica interesante. Además, los mecanismos de descubrimiento de servicios necesitarán cubrir una amplia heterogeneidad de aplicaciones, servicios y dispositivos, así como proporcionar servicios con capacidades compatibles con los requisitos del usuario y las especificaciones de los terminales móviles usados. Por tanto, en el servicio de descubrimiento se considerarán tanto información de contexto (usuario, dispositivo móvil y entorno), como información social (de redes sociales).

Una vez se hayan descubierto los servicios necesarios para responder a una petición concreta, se podrán componer tales servicios. Este servicio consistirá en definir mecanismos mediante los cuales se orqueste la composición de los servicios. Para hacer esto, planeamos extender los mecanismos de composición previamente desarrollados por algunos de los miembros del equipo de investigación solicitante. Sin embargo, mientras se componen servicios pueden producirse problemas provocados por cambios dinámicos (por ejemplo, en el contexto relativo a un recurso físico de un dispositivo móvil, o por una preferencia de un usuario). Tales problemas deberán ser detectados mediante monitorización, y gestionados mediante adaptación y reconfiguración.

Resultados:

Como resultados de esta tarea, se obtendrá el desarrollo de un servicio de descubrimiento que explote la infraestructura ya disponible en la nube así como en plataformas actuales orientadas a servicios. Dicho servicio hará uso de información adicional referente al contexto, situación, información social y adaptabilidad tanto de los servicios como del usuario.

También se definirá un protocolo que coordine a varios de estos servicios desplegados en diferentes nubes e infraestructuras.

Plan de trabajo:

Se usarán técnicas de monitorización automáticas sobre la ejecución de servicios (incluyendo la composición de los mismos), para detectar los problemas derivados de los cambios inesperados en el sistema, disminuyendo sustancialmente el tiempo y los costes de interacción. Se trata de un proceso de recolección de información relevante sobre la ejecución y evolución de la composición de los servicios. Así, la monitorización observa los servicios durante su ejecución actual, controlando el entorno de los mismos. Este entorno puede incluir otros servicios que afecten a la ejecución, la plataforma sobre la que se ejecutan los servicios (los dispositivos móviles, o el tipo de sistema operativo usado, etc.), y el entorno físico. Por lo tanto, el servicio de monitorización podrá detectar violaciones en el comportamiento esperado de los servicios, o recolectar información sobre las ejecuciones de los servicios en tiempo de ejecución, así como gestionar dinámicamente posibles fallos. Algunos eventos monitorizados son los siguientes: ejecuciones imprevistas, modificaciones en la petición en tiempo real, cambios de contexto, fallos en el servidor, fallos en el móvil a nivel hardware o en la red, fallos a nivel de software, etc. Nuestro servicio de monitorización tendrá una relación directa con los servicios de adaptación y reconfiguración, que se plantean abordar en la siguiente tarea.

Tarea T2.2: Síntesis automática de orquestadores de servicios

Duración: Mes 10 de la 1ª anualidad a mes 12 de la 3ª anualidad.

Participantes: Ernesto Pimentel, Javier Cubo, J. Antonio Martín, Carlos Canal, María del Mar Gallardo, Ana Roldán, Jose L. Pastrana

Objetivos:

Esta tarea se centra en la generación automática de un orquestador o adaptador para resolver los problemas de interacción detectados previamente. En primer lugar, para poder comunicar servicios necesitaremos resolver problemas de interoperabilidad, por lo que en ocasiones esta interacción necesitará de un proceso de adaptación (considerando la información cambiante del contexto). Más adelante, incluso se necesitará un proceso de reconfiguración dinámica. Adaptación es el proceso de modificar una arquitectura de servicios para satisfacer nuevos requisitos y especificaciones dictadas por los cambios en el entorno, preferencias del usuario, o dispositivo móvil. Esta adaptación se llevará a cabo en base a estrategias de adaptación diseñadas por el desarrollador. La reconfiguración puede ser llevada a cabo estáticamente (*off-line*) o dinámicamente en tiempo de ejecución (*on-line*). El proceso de reconfiguración dinámica es más realista porque es aplicada mientras los servicios están siendo ejecutados en tiempo real. Sin embargo, es más complejo en este caso considerar todos los posibles cambios en la práctica, ya que las modificaciones deben realizarse sin interrumpir la ejecución de las partes no afectadas. Por tanto, esto supondrá un reto durante el desarrollo del proyecto.

Resultados:

En esta tarea se obtendrá la definición de una especificación de alto nivel que describa los requisitos y objetivos de la orquestación. Esta especificación se alinearán con el descubrimiento de los servicios (T2.1) y con su posterior optimización (T2.3), verificación y certificación (PT.3). Además, se desarrollarán mecanismos que nos permitan razonar sobre los servicios y sus orquestadores a fin de analizar su desempeño y poder potenciar características deseadas como robustez,

privacidad, disponibilidad o rendimiento. Finalmente, se desarrollarán servicios en la nube que permitan la síntesis automática de orquestadores, que a su vez serán desplegados en la nube, a fin de cumplir con los objetivos especificados tanto en funcionalidad como en parámetros de calidad.

Plan de trabajo:

Los problemas concretos a resolver serán los siguientes: (i) problemas de incompatibilidad en los interfaces de los servicios, (ii) cambios en los requisitos y especificaciones, o en la configuración de los componentes de la interacción (dispositivo móvil), (iii) fallos en la red o en el sistema remoto, y (iv) errores internos de los servicios. El tipo de problema (i) se refiere a los cuestiones que pueden aparecer en diferentes niveles de interoperabilidad (nivel de signatura, nivel de comportamiento o de protocolo, nivel de calidad de servicio, y nivel semántico o conceptual). En este caso se hará uso de técnicas de adaptación de software para abordarlo de forma no-intrusiva. Nuestra propuesta realizará una adaptación contextual dinámica para controlar el sistema en tiempo de ejecución, considerando cambios de contexto en el usuario y en el entorno, en base a las preferencias de usuario o capacidades del servicio. El tipo (ii) es provocado por los cambios continuos (nuevos requisitos o servicios completamente creados en tiempo de ejecución). Para este problema se usarán técnicas de evolución o mantenimiento software [MD08], mediante reconfiguración dinámica, para resolverlos de manera intrusiva o no-intrusiva, según corresponda al tipo de cambio en la estructura física o lógica del sistema. Los problemas tipo (iii) y (iv) se relacionan con los fallos en las redes (pérdida de conexión de red o no disponibilidad de un host remoto) y en los servicios (suspensión de servicios durante la ejecución o error del sistema en tiempo real), respectivamente. Ambos podrán ser abordados por mecanismos de tolerancia a fallos o recuperación de errores.

Tarea T2.3: Optimización de parámetros de servicios y orquestadores

Duración: Mes 1 de la 2ª anualidad a mes 12 de la 3ª anualidad.

Participantes: Pedro Merino, Alberto Salmerón, Pablo López, Ana Roldán, Jose L. Pastrana, Carlos Canal, PC1

Objetivos:

En esta tarea se abordará la optimización del funcionamiento en los terminales móviles de los servicios y aplicaciones considerados en el proyecto. Además se llevarán estas tareas de optimización al entorno de ejecución de los propios servicios y orquestadores, con un doble objetivo: (i) la optimización sobre plataformas de ejecución de servicios en la nube, y (ii) la optimización de parámetros que los propios servicios ofrezcan. Para la optimización se tendrá en cuenta información observable del funcionamiento, así como información del contexto.

La optimización que se persigue en esta tarea se conseguirá mediante el ajuste de los parámetros que puedan ser modificados. Por ejemplo, en el caso de los terminales móviles, estos parámetros se encontrarán en la pila de protocolos y aplicación. Por lo general, muchos de estos elementos cuentan con parámetros configurables estática o dinámicamente que pueden influir en el rendimiento o en otros aspectos de una aplicación. Los valores por defecto de estos elementos pueden haber sido elegidos en base a un estudio previo de su comportamiento, intentando optimizar el caso general. Sin embargo, estos valores no tienen por que ser los más adecuados para todas las situaciones, e incluso es posible que las asunciones en las que se basen deban ser corregidas con el tiempo. Así por ejemplo, [DRCCHAJS10] propone un aumento del tamaño inicial de la ventana de congestión de TCP, basándose en observaciones y experimentos a gran escala con tráfico web real. Sería, por tanto, deseable contar con un mecanismo automatizable que ayudase a encontrar configuraciones de parámetros óptimas para estas aplicaciones y servicios en el contexto de un terminal móvil.

Además de optimizar el rendimiento sobre terminales móviles, se quieren considerar otros escenarios donde la optimización de parámetros pueda aportar valor de forma similar. En concreto estos escenarios serían dos: i) la optimización sobre plataformas de ejecución de servicios en la nube, y ii) la optimización de parámetros que los propios servicios ofrezcan. Por un lado, la extensión más directa consistiría en la optimización sobre las plataformas en la nube sobre la que estos servicios y sus orquestadores son ejecutados. Estas plataformas pueden contar con pilas de protocolos similares y con las mismas necesidades de optimización. Por otro lado, los servicios en sí pueden ofertar parámetros no funcionales que afecten a su rendimiento. Las interacciones de estos servicios entre sí pueden dar lugar a casos de uso que sean susceptibles ser optimizados gracias al ajuste de parámetros. Además, a nivel de servicios resulta interesante contar con información de contexto que pueda provenir de diversas fuentes, y que puedan tener algún tipo de influencia en el funcionamiento de los mismos.

También se abordarán los casos de optimización estática (*off-line*) y dinámica (*on-line*), es decir, la optimización antes del despliegue del sistema y la optimización en tiempo de ejecución, para adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno o a requisitos no previstos. El segundo caso requerirá de soporte especial por parte de los servicios y orquestadores, que deberán ofrecer posibilidades de reconfiguración en función de el análisis de los datos de monitorización.

Resultados:

Una metodología de optimización de parámetros aplicable a servicios y orquestadores, y su entorno de ejecución. Una herramienta que implemente esta metodología, para facilitar el proceso de optimización, tanto estática como dinámica.

Plan de trabajo:

Se estudiará el entorno de ejecución de los servicios y orquestadores, para extraer los posibles elementos (pilas de protocolos, marcos de ejecución, etc) que puedan ser optimizados mediante la selección adecuada de parámetros. Se extraerán los requisitos de estos elementos, los parámetros que puedan ofrecer, sus interacciones y se estudiará la viabilidad de su modificación y su posible impacto. También se estudiarán los parámetros que puedan ofrecer los servicios y que puedan afectar a su rendimiento. Adicionalmente, se estudiará la información que se pueda emplear dentro del proceso de optimización, tanto para medir el rendimiento del sistema como para adaptar la selección de parámetros al contexto de ejecución. Parte de esta información podría extraerse usando las herramientas de monitorización desarrolladas en el paquete de trabajo PT1.

A continuación se desarrollará la metodología de optimización de parámetros que tenga en cuenta las entradas detectadas, y produzca como resultado una serie de configuraciones de parámetros adecuadas para cada contexto.

Esta metodología se implementará en una o varias herramientas, dependiendo de las necesidades detectadas para los distintos entornos de optimización, y de si esta se realizará estática o dinámicamente. Se asegurará que los terminales móviles, servicios, orquestadores y otros entornos usados soportan la reconfiguración de parámetros, desarrollando otra herramienta que se encargue de aplicar la configuración adecuada en base al análisis previo de la herramienta.

Paquete de Trabajo PT3: Certificación y fiabilidad de servicios y orquestadores

Responsable: María del Mar Gallardo

Participantes: Pedro Merino, Alberto Salmerón, María del Mar Gallardo, Carlos Canal, Almudena Díaz, Álvaro M. Recio, Laura Panizo, Francisco Gutiérrez, PC2

Descripción:

En este paquete se desarrollará un conjunto de herramientas que permitan la certificación de aplicaciones y orquestadores utilizando diferentes metodologías. Los prototipos se validarán mediante caso de estudio e irán acompañadas por manuales de usuario.

Se pretende abordar el problema de la certificación de aplicaciones que acceden a servicios alojados en la nube y orquestadores de esos servicios, con el objetivo de proporcionar a los desarrolladores un conjunto de herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento y la compatibilidad de sus aplicaciones.

Además, se proponen dos métodos diferenciados para llevar a cabo la certificación. Por un lado el uso de modelos y técnicas formales que verifiquen el sistema se comporta según lo especificado. Por otro lado, la ejecución del software en un entorno realista pero parcialmente controlado, que permita reproducir diferentes escenarios de uso.

Resultados:

R3.1. Técnicas de análisis para modelos con información temporal y estocástica.

R3.2. Desarrollo de herramientas para la certificación de aplicaciones y adaptadores basadas en modelos híbridos y/o probabilísticos.

R3.3. Desarrollo de herramientas de certificación basadas en la ejecución real de las aplicaciones y adaptadores.

Desglose en Tareas del Paquete de Trabajo PT3

Tarea T3.1: Técnicas de análisis para modelos con información temporal y estocástica

Duración: Mes 1 de la 2ª anualidad a mes 6 de la 3ª anualidad.

Participantes: Pedro Merino, Alberto Salmerón, María del Mar Gallardo, Almudena Díaz, Álvaro M. Recio, Laura Panizo

Objetivos:

Esta tarea tiene dos objetivos que afectan directamente a las tareas T3.2 y T3.3. El primero se trata de la definición de un lenguaje de especificación de propiedades común que se usará en las tareas posteriores. El segundo consiste en la selección y adaptación de técnicas para la verificación de propiedades sobre modelos.

Dado que la certificación que se llevará a cabo está basada en el análisis de propiedades del software, un aspecto de gran relevancia es el lenguaje en el que se especifiquen dichas propiedades. Para facilitar la tarea a los usuarios finales, proporcionándoles una solución unificada, proponemos la definición y uso de un lenguaje de especificación de propiedades común que será usado por las herramientas de certificación.

Por otra lado, existen numerosas técnicas alternativas basadas en model checking: para sistemas discretos, híbridos, estocásticos, etc. que utilizan diferentes formalismos. En esta tarea se evaluarán las diferentes alternativas y se estudiarán las modificaciones que serían necesarias para aplicarlas a nuestro problema particular.

Resultados:

Los resultados de esta tarea son un lenguaje de especificación de propiedades común y un conjunto de técnicas adaptadas para su uso en este dominio.

Plan de trabajo:

Para la definición del lenguaje de especificación de propiedades se evaluarán las alternativas existentes y se estudiará si es necesario extender alguna de estas propuestas.

En el caso de las técnicas, se evaluarán las metodologías existentes, atendiendo a la complejidad del dominio de aplicación.

Tarea T3.2: Certificación basada en modelos

Duración: Mes 6 de la 2ª anualidad a mes 12 de la 3ª anualidad.

Participantes: María del Mar Gallardo, Álvaro M. Recio, Pablo López, Laura Panizo, Blas C. Ruiz, Francisco Gutiérrez

Objetivos:

El objetivo de esta tarea es la implementación de un prototipo de herramienta de certificación basada en modelos del software. La certificación de este software se llevará a cabo mediante la verificación de un conjunto de propiedades relevantes sobre los modelos que se desarrollen. Para ello se aplicarán técnicas formales como el model checking.

Dado que el software a certificar se va a ejecutar en dispositivos con recursos limitados, como teléfonos móviles o tabletas, un aspecto importante es certificar que se hace un uso correcto y responsable de los recursos disponibles como el tiempo de respuesta y de espera, la memoria, el volumen de tráfico, etc. Para incluir estos aspectos en el proceso de certificación, vamos a utilizar los modelos enriquecidos del software resultantes del PT1.

Resultados:

El resultado de esta tarea es una herramienta de certificación de software basada en modelos, la cual permite certificar aspectos cuantitativos y probabilísticos del software.

Plan de trabajo:

Basándonos en los resultados de la tarea T3.1 se desarrollará un prototipo de herramienta para la certificación basada en modelos. Además, se seleccionará un conjunto reducido de casos de prueba que nos permitirán validar el correcto funcionamiento de la herramienta.

Tarea T3.3: Certificación basada en la ejecución de los servicios y aplicaciones

Duración: Mes 6 de la 2ª anualidad a mes 12 de la 3ª anualidad.

Participantes: Pedro Merino, Carlos Canal, Alberto Salmerón, Almudena Díaz, Álvaro M. Recio, Laura Panizo, José A. Martín, PC2

Objetivos:

El objetivo de esta tarea es desarrollar mecanismos para poder certificar el software a partir de su ejecución. Para ello se aplicarán dos enfoques diferenciados: la generación de casos de prueba de forma automática y la comprobación de propiedades mediante técnicas de runtime verification. La especificación de estas propiedades a verificar se realizará empleando el lenguaje resultante de la tarea T3.1.

Para esta tarea usaremos técnicas formales. Por un lado, para generar diferentes configuraciones de ejecutar el software, de este modo podemos lanzar las ejecuciones de manera automática. Por otro lado, las técnicas formales se emplearán para el análisis de propiedades sobre cada una de las ejecuciones, para lo, que es necesario obtener información sobre el estado de la ejecución a lo largo del tiempo.

Resultados:

El resultado de esta tarea será un prototipo que realice la certificación de servicios y aplicaciones para una plataforma concreta.

Plan de trabajo:

Para poder generar los diferentes casos de prueba, en una fase inicial es necesario estudiar los parámetros del software y del entorno que afectan a las ejecuciones. Una vez determinados, se implementará una herramienta de monitorización que será dependiente de la plataforma en la que se ejecute el software.

Basándonos en esta herramienta de monitorización, se desarrollará un prototipo de herramienta de certificación basada en *runtime verification*. Posteriormente, se seleccionará un conjunto reducido de casos de prueba que nos permitirán validar el correcto funcionamiento de la herramienta.

Paquete de Trabajo PT4: Aplicación y validación de orquestadores de servicios en la Internet del Futuro. Un caso práctico en redes sociales

Responsable: Francisco Gutiérrez

Participantes: Ernesto Pimentel, Javier Cubo, J. Antonio Martín, Carlos Canal, María del Mar Gallardo, Pedro Merino, Alberto Salmerón, Almudena Díaz, Laura Panizo, Álvaro M. Recio, Ana Roldán, Blas C. Ruiz, Francisco Gutiérrez, PC1, PC2

Descripción:

El uso incremental de los dispositivos móviles ha dado lugar a la creación de un nuevo mercado de aplicaciones móviles durante los últimos años. En concreto, dentro de estas nuevas aplicaciones, las redes sociales están siendo usadas cada vez más. En este tipo de sistemas es relevante considerar las preferencias de usuario y los cambios dinámicos en el entorno, para adaptar y reconfigurar automáticamente el comportamiento de los servicios que interaccionen en el sistema en tiempo de ejecución. De esta manera, se pueden resolver problemas relacionados con el tipo de conectividad, las restricciones de ancho de banda o los recursos locales (por ejemplo, para controlar el rendimiento y el consumo de energía durante la comunicación de los servicios), los perfiles de usuario (por ejemplo, para encontrar usuarios con intereses similares), la localización del usuario (por ejemplo, para la detección de servicios cercanos al usuario), etc. Además, es necesario dotar a estos sistemas de la seguridad adecuada en las interacciones de los servicios, dependiendo de la información del contexto desde el punto de vista del usuario y de los servicios, considerando los posibles cambios dinámicos en el entorno de ejecución.

En esta tarea se plantea la validación de la metodología desarrollada a lo largo del proyecto en entorno del uso de servicios en redes sociales: Adaptación de las necesidades de comunicación (acceso a redes sociales) del usuario en función del contexto. En concreto, se validarán las técnicas de monitorización y optimización de servicios y orquestadores de servicios desarrolladas previamente. En primer lugar, se hará un estudio de la información del usuario y del entorno del sistema a considerar, modelando parámetros de calidad del servicio, cambios de contexto o seguridad. Finalmente, se aplicarán los mecanismos necesarios para establecer automáticamente las configuraciones (mediante adaptadores y monitorización pertinente) que permitan una correcta ejecución del sistema (interacción entre usuario y servicios).

Resultados:

R4.1. Capturar y caracterizar los requisitos más frecuentes en el desarrollo de servicios para la Internet del Futuro.

R4.2. Desarrollo de aplicaciones y casos de estudio en base a los requisitos con especial énfasis en las redes sociales.

R4.3. Validación de resultados y estudio del desempeño de la propuesta.

Desglose en Tareas del Paquete de Trabajo PT4

Tarea T4.1: Recolección de requisitos para la aplicación

Duración: Mes 4 de la 1ª anualidad a mes 12 de la 2ª anualidad.

Participantes: Ernesto Pimentel, Javier Cubo, J. Antonio Martín, Almudena Díaz, Álvaro M. Recio, Ana Roldán, Francisco Gutiérrez, PC1, PC2

Objetivos:

Esta tarea tiene como objetivo caracterizar las necesidades más comunes de los usuarios (entendiendo como usuario los desarrolladores, arquitectos, dispositivos e infraestructuras) de cara a diseñar y evaluar el proyecto en base a las correspondientes aplicaciones y casos de estudio.

Las aplicaciones del proyecto se dejarán abiertas a otros campos donde se requieran métodos formales, computación distribuida e infraestructura en la nube como herramientas de logística y gestión de masas, notificación temprana y reacción ante catástrofes, etc. Con todo, dada su relevancia se prestará mayor atención al ámbito de las redes sociales haciendo especial hincapié en procesos distribuidos desplegados en la nube. Adaptando y coordinando varias redes sociales así como los mecanismos de orquestación y monitorización oportunos, se podrá explotar técnicas distribuidas que mejoren las características actuales, y proporcionen nueva funcionalidad, sobre las redes sociales existentes. Entre otras, las ventajas esperadas son las siguientes: i) será posible mejorar la disponibilidad de los datos y los procesos de negocio (al estar éstos replicados en varias plataformas y ser accedidos transparentemente a través de un interfaz unificado); ii) se puede incrementar la privacidad de los mismos mediante fragmentación (donde los datos son divididos entre distintas plataformas de manera que ninguna tiene toda la información sensible); y iii) se potencia la accesibilidad de los mismos dado que, al estar todo el proceso desplegado en las nubes, móviles, tabletas y demás dispositivos con recursos limitados pueden delegar en la nube las operaciones más costosas computacionalmente. Además, realizando una monitorización del contexto (entorno, localización, dispositivo, ... etc.) se podrá adaptar tanto la experiencia del usuario como el comportamiento de la aplicación a distintas situaciones.

A fin de definir los requisitos, se trabajará estrechamente con el PT1, con especial énfasis en la tarea T1.2 a fin de caracterizar y preservar los requisitos en el mismo modelo. En la medida de lo posible, algunos de los requisitos serán tomados en cuenta a fin de que se cumplan por la construcción inherente al modelo. A su vez también se cooperará con las tareas T3.1 y T3.2 a fin de verificar dichos requisitos durante la fase de certificación.

Resultados:

Se obtendrá un conjunto de requisitos junto con sus dependencias, relaciones e impacto esperado. Estos requisitos serán dirigidos por las necesidades y preferencias de los desarrolladores de aplicaciones. Como caso de estudio se recolectarán requisitos adicionales referentes a la coordinación de varias redes sociales.

Plan de trabajo:

Esta tarea inicialmente comenzará con la recolección inicial de requisitos tanto de la plataforma como de las aplicaciones referentes a los casos de estudio. Además, se pretende refinar y profundizar en los requisitos y su análisis durante el desarrollo de los modelos y técnicas de certificación. Durante este paso se crearán nuevos requisitos específicos y se descartarán aquellos que se consideren fuera del ámbito del proyecto. Al mismo tiempo, esta tarea servirá de guía para los demás paquetes de trabajo en base a qué requisitos son abarcables y a las posibles formas de cumplirlos.

Tarea T4.2: Validación y evaluación de los orquestadores optimizados y certificados

Duración: Mes 6 de la 2ª anualidad a mes 12 de la 3ª anualidad.

Participantes: María del Mar Gallardo, Carlos Canal, Pedro Merino, Laura Panizo, Blas C. Ruiz, Francisco Gutiérrez, José Luis Pastrana, PC1, PC2

Objetivos:

Evaluar los resultados del proyecto tanto en sus demostraciones formales como en su desempeño en los casos de estudio, prototipos y aplicaciones desarrollados. Estudiar y aplicar las métricas más pertinentes para la valoración del proyecto y sus productos. Diseñar e implementar una batería de pruebas unitarias y de integración que automaticen, en la medida de lo posible, el alcance y valoración del proyecto en el cumplimiento de los requisitos. Finalmente, y en base a los datos y pruebas antes mencionados, proporcionar pruebas verificables y reproducibles de la calidad y desempeño de los resultados obtenidos.

Resultados:

Una batería de pruebas automáticas que fomenten la mantenibilidad y extensibilidad de los productos desarrollados. A su vez, y en base a las métricas anteriores, se proporcionará un informe en el que consten los datos, resultados y demás indicativos de la calidad del proyecto.

Plan de trabajo:

Inicialmente, en esta tarea se traducirán los requisitos en especificaciones de pruebas unitarias y de integridad así como metodologías y directrices de desarrollo. Se llevará a cabo la implementación y despliegue de dichas pruebas de manera que fomenten un desarrollo basado en pruebas durante la evolución del proyecto. Además, se recolectarán distintas métricas de calidad y se valorará su adecuación al proyecto. A partir de ese punto, se evaluarán dichas métricas sobre los resultados parciales a fin de mejorar la administración del proyecto y descubrir puntos fuertes y posibles debilidades durante el desarrollo. Finalmente, se realizará un informe resultante de la evaluación final del proyecto en base a los requisitos, pruebas, métricas y estudios de usabilidad.

4.3. Modelo de cronograma (orientativo)

	Persona responsable	Primer año	Segundo Año	Tercer año
PT0 Coordinación, gestión y difusión del proyecto	Ernesto Pimentel			
T0: Coordinación, gestión y difusión del proyecto		■	■	■
PT1 Monitorización en redes móviles y generación de modelos	Pedro Merino			
T1.1: Monitorización de la información de contexto		■	■	■
T1.2: Generación de modelos de comportamiento extendidos		■	■	■
PT2 Síntesis y optimización de los orquestadores de servicios	Carlos Canal			
T2.1: Mecanismos de descubrimiento y composición de servicios en la nube		■	■	■
T2.2: Síntesis automática de orquestadores de servicios		■	■	■
T2.3: Optimización de parámetros de servicios y orquestadores		■	■	■
PT3 Certificación y fiabilidad de servicios y orquestadores	María del Mar Gallardo			
T3.1: Técnicas de análisis para modelos con información temporal y estocástica		■	■	■
T3.2: Certificación basada en modelos		■	■	■
T3.3: Certificación basada en la ejecución de los servicios de aplicaciones		■	■	■
PT 4 Aplicación y validación de orquestadores de servicios en la Internet del Futuro. Un caso prácticos en redes sociales	Francisco Gutiérrez			
T4.1: Recolección de requisitos para la aplicación		■	■	■
T4.2: Validación y evaluación de los orquestadores optimizados y certificados		■	■	■

Los participantes por cada tarea se detallan en el plan de trabajo presentado previamente. No se incluyen en la tabla por cuestiones de legibilidad.

5. BENEFICIOS DEL PROYECTO, DIFUSIÓN Y EXPLOTACIÓN, EN SU CASO, DE LOS RESULTADOS

5.1. Beneficios

- En el proyecto confluyen tres áreas de investigación distintas: monitorización de QoS en redes celulares, métodos formales y adaptación de servicios Web. Los miembros del equipo solicitante poseen una extensa experiencia en cada una de estas áreas, y tratarán de aplicar dicha experiencia en nuevos campos de uso para la consecución final de la optimización del acceso a los servicios de la nube desde un terminal móvil. La aplicación de experiencia adquirida en las distintas áreas dará lugar a la generación de nuevas líneas de investigación a la vez que incrementará la cohesión y consolidación de los trabajos de investigación llevados a cabo por el grupo de investigación GISUM.
- También cabe destacar el marcado carácter aplicado del proyecto, que busca aplicar los conceptos desarrollados en la mejora del acceso a las redes sociales desde los dispositivos móviles en función del contexto real que rodea al usuario.
- Los resultados del proyecto tendrán un claro impacto social ya que busca optimizar y dotar de mayor inteligencia a las aplicaciones que se ejecutan en el dispositivo móvil.
- Se identificarán y parametrizarán parámetros claves del rendimiento de las aplicaciones en los terminales móviles que serán difundidos al resto de la comunidad científica para difundir un mejor conocimiento del entorno de ejecución móvil y que se puedan incorporar en sus técnicas de adaptación de servicios los comportamientos no funcionales caracterizados en este proyecto.

5.2. Plan de difusión y, en su caso, de explotación, de los resultados del proyecto

La gestión del proyecto se orientará a la difusión de los resultados de las investigaciones realizadas en los foros científicos (revistas, congresos, talleres, seminarios o escuelas) de mayor impacto dentro del área, tanto de ámbito académico como profesional. Para facilitar la difusión y aceptación industrial de los resultados se prevé, adicionalmente, la realización de las siguientes acciones:

- En lo que se refiere a la difusión de resultados dentro de la comunidad científica, el método de difusión que consideramos más importante es el habitual, es decir, la publicación de los resultados de la investigación en revistas y libros, así como comunicaciones en congresos, talleres y seminarios especializados. A partir del historial previo del equipo, es de esperar que los resultados del proyecto se presenten en los foros científicos más importantes de nuestro ámbito, entre los que destacaríamos las revistas internacionales: *IEEE Transactions on Software Engineering*, *Software Tools for Technology Transfer*, *The Computer Journal*, *Journal of Logic and Algebraic Programming*, *Information Processing Letters*, *IEEE Transactions on Service Computing*, *International Journal of Web Science*, *Journal of Service-Oriented Applications*, *Journal of Systems and Software*, *Formal Aspects of Computing*, *Science of Computer Programming*, *Theoretical Computer Science*, etc. También esperamos remitir trabajos a congresos tales como: ICWS, ESOC, ICSOC, SPIN, FASE, FACS, CADE, CONCUR, FMOODS, COORDINATION, etc. En todos ellos el equipo ya ha participado anteriormente, incluso como miembros o presidentes de los respectivos comités de programa.
- Difusión de los resultados a través de Internet, con la construcción de un portal de descripción del proyecto, incluyendo enlaces a las publicaciones derivadas de este, el software de dominio público desarrollado y la documentación asociada. Esta información será anunciada también en listas de distribución de correo apropiadas.

- Presencia de expertos externos en los seminarios que se organicen como parte de la actividad de coordinación del grupo, o como parte de las actividades del programa de doctorado y máster impartido por miembros del equipo.
- Estudio de la viabilidad (y, en su caso, desarrollo) de versiones beta de los productos que se obtengan en el transcurso del proyecto.
- Establecimiento de contactos directos con empresas/grupos de empresas para recopilar datos y casos prácticos de estudio que resuelvan algunas necesidades de la empresa, relacionadas con el desarrollo de aplicaciones orientadas a servicios, y donde el uso de dispositivos móviles sea relevante. En este sentido, un medio rápido y muy adecuado de difusión lo constituye la plataforma INES de cuyo comité gestor forma parte el organismo solicitante. También se ha contactado ya con alguna entidad promotora/observadora, como se justifica en la documentación presentada.
- Para difundir, en su caso, las herramientas desarrolladas en los sectores profesionales, además de utilizar los mecanismos proporcionados por la Subdirección General de Proyectos de Investigación con ocasión de las jornadas de seguimiento de proyectos, en las que los equipos pueden confeccionar un resumen de resultados, se proponen otras acciones adicionales que incluyen la preparación de CDs de demostración y su distribución, elaboración de catálogos de presentación del equipo investigador en los que se incluyan las herramientas desarrolladas, presentación de las herramientas en foros mixtos de carácter tecnológico-empresarial, inclusión en repositorios, etc.
- Entendemos que otra actividad importante de difusión puede realizarse a través de actividades de formación, organizando y publicitando los cursos y seminarios que imparten los miembros del equipo participante (enseñanzas oficiales de máster y títulos propios) sobre métodos formales y su aplicación a la construcción de servicios software y la composición de software en entornos industriales.

6. HISTORIAL DEL EQUIPO SOLICITANTE EN EL TEMA PROPUESTO

El equipo solicitante forma parte de GISUM (Grupo de Ingeniería del Software de la Universidad de Málaga), grupo de excelencia TIC 136 de la Junta de Andalucía, y su actividad se enmarca dentro de los Métodos Formales en Ingeniería del Software. La experiencia del equipo dentro del ámbito del proyecto que se solicita está ampliamente respaldada por la participación de sus miembros en la gestión y difusión de investigación a nivel internacional en proyectos de investigación de similares características, y por publicaciones relacionadas con gran parte de los temas abordados en la actual propuesta. Entre las líneas de trabajo cubiertas por el grupo hemos de destacar las aproximaciones formales en el marco de la tecnología del software basada en componentes y servicios (coordinación, composición, adaptación etc.), la integración de técnicas de interpretación abstracta y de *model checking* en código de alto nivel (*model checking software*), o la teoría de la concurrencia aplicada a la coordinación de software, con aplicaciones a la adaptación y composición de servicios y a las redes de sensores.

La experiencia del grupo en los temas de la propuesta queda reflejada en gran parte de las referencias que se han mencionado en sección 2.2 de antecedentes. La difusión en foros internacionales de prestigio de los trabajos previos que sirven de soporte a las ideas del presente proyecto son una muestra de las elevadas garantías de éxito.

Cooperación Internacional

Los contactos a nivel internacional establecidos a lo largo de los años por los miembros del equipo de trabajo, han repercutido positivamente en la cooperación científica con numerosos investigadores de reconocido prestigio y sus grupos de investigación, de entre los que nos gustaría destacar: Alfred Kobsa (University of California, EEUU), Antonio Brogi (Università di Pisa, Italia), David S. Rosenblum (Universidad Nacional de Singapur), Ernst Kleeman (Airbus R&T, Alemania), Fabio Martinelli (IIT - CNR, Italia), Gwen Salaün (INRIA Grenoble Rhône-Alpes, Francia), Hubert Garavel (VASY, Francia), Jean-Marie Jacquet (Université de Namur, Bélgica), Lubos Brim (Universidad de Brno, República Checa), Miguel Katrib (Universidad de La Habana, Cuba), Pascal Poizat (Université d'Evry, Francia), Radu Mateescu (INRIA Grenoble Rhône-Alpes, Francia), Tiziana Margaria (Potsdam University, Alemania), Willem Visser (NASA AMES Research, EEUU). Estas colaboraciones han supuesto el intercambio de estancias de investigación entre diversas instituciones, la publicación conjunta de resultados de investigación con miembros de otros grupos en congresos y revistas de prestigio internacional, el desarrollo de prototipos y su integración con herramientas de otros grupos internacionales, etc. Así mismo, a partir de estas cooperaciones se han organizado eventos científicos de diversa naturaleza (congresos, workshops, escuelas de verano, etc.) y se ha participado en proyectos europeos conjuntos. En particular, y recientemente, diversos miembros del equipo solicitante participan en varias propuestas de la última convocatoria (*call 8*) del FP7.

También en el ámbito de la proyección internacional del equipo solicitante, cabe señalar la participación del grupo en redes de cooperación internacionales como ERCIM (*European Research Consortium for Informatics and Mathematics*), así como en el grupo de trabajo en métodos formales FMICS, la acción COST en verificación de software orientado a objetos, la plataforma tecnológica eMobility (actualmente renombrada como Net!works), la plataforma Europea dedicada a tecnologías software y de servicios, NESSI (*Networked European Software and Services Initiative Technology Platform*), la red de excelencia (NESSoS) para Ingeniería de Sistemas y Servicios Software Seguros en la Internet del Futuro.

Diversos miembros del equipo solicitante participan habitualmente como revisores de artículos de revistas relacionadas con la temática del proyecto, como *Advances in Computer Science and Engineering*, *Software Testing, Verification and Reliability*, *Software Tools for Technology Transfer*, *Formal Aspects of Computing*, *Science of Computer Programming*, *Software and System Modelling*, *Journal of Systems and Software*, *Journal of Logic and Algebraic Programming*, *IEEE*

Wireless Communication Magazine and Computer Communications Elsevier, etc. Como muestra también de la presencia internacional de los miembros del equipo, se debe mencionar la participación (y también presidencia en algunos casos) en comités científicos y gestores de conferencias y talleres relacionados con las temáticas del proyecto como PLILP, AGP, FASE, UML (actualmente MODELS), ICLP, COORDINATION, FACS, FOCLASA, SAS, SPIN, FoVeOOS, FMICS, SDL Forum, CONQUEST, PIMRC, NEW2AN, FLACOS, CibSE (anteriormente IDEAS), ECOWS (ahora ESOC), WAS4FI, ICIW, ICWS, etc.

Los miembros del equipo solicitante también han participado en la organización de diversos eventos internacionales, como el congreso internacional de programación orientada a objetos (ECOOP) celebrado en Málaga en 2002, o dos talleres asociados a ICALP'2002, también celebrado en Málaga: FMICS (reunión del grupo de trabajo de ERCIM *Formal Methods for Industrial Critical Systems*) y FMCI (*Formal Methods and Component Interaction*). Desde el año 2003, también se ha participado en la organización del workshop FOCLASA (*Foundations of Coordination Languages and Software Architectures*), celebrado como evento satélite de CONCUR e ICALP, y que desde entonces se ha estabilizado como un evento periódico de cuyo comité ejecutivo forman parte dos investigadores de esta propuesta. De forma análoga, miembros del grupo han organizado también el workshop WCAT (*Workshop on Coordination and Adaptation Technologies*) durante cuatro años (2004-2007) como evento satélite de ECOOP, así como el workshop WAS4FI (*International Workshop on Adaptive Services for the Future Internet*), celebrado en su primera edición en 2011 como evento de la conferencia internacional ServiceWave. También se organizaron en Málaga la *European Summer School on Logic, Language and Computation* en 2006 y la edición de 2008 de FACS (*Formal Aspects of Component Systems*), simposio en el que miembros del equipo forman parte de sus comités gestor y de programa desde 2005. Finalmente, varios miembros del equipo solicitante participaron también en la organización en Málaga de Tools 2010 Federated Conferences, y de la edición de 2011 del taller FLACOS (*Formal Languages and Analysis of Contract-Oriented Software*). Es de destacar que el investigador principal del proyecto es Presidente del Comité de Programa de edición de 2012 de la *European Conference on Service-Oriented and Cloud Computing* (ESOC), anteriormente la *European Conference on Web Services* (ECOWS), cuyos temas principales caen de lleno en el ámbito de la presente propuesta. En este mismo sentido, la participación en el IFIP *Working Group on Services-Oriented Systems* (IFIP WG 6.12/2.14/8.10) también se ha de considerar de gran relevancia. Miembros del equipo forman parte de las comités de dirección (*steering committees*) de estos y otros eventos: FOCLASA, WCAT, FLACOS, CibSE, etc.

Por otra parte, en los últimos cinco años los doctores más recientes y los investigadores que desarrollan su tesis doctoral han realizado estancias postdoctorales o predoctorales en actividades directamente relacionadas con la temática del proyecto en centros de prestigio, como la University of California at Irvine, (EEUU) con el Prof. Alfred Kobsa (2007); VTT (Finlandia), con el investigador Marko Jurvansu, (2008), INRIA (Francia), con el investigador Radu Mateescu (2008); University College London (Reino Unido), con el Prof. David S. Rosenblum (2008), City University London (Reino Unido), con el Prof. George Spanoudakis (2009); Imperial College London (Reino Unido), con los Profesores Jeff Kramer y Jeff Magee (2008); INRIA (Francia), con el investigador Gwen Salaün (2009), CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia), con el investigador Fabio Martinelli (2010), University of California – Santa Barbara (EEUU), con el Prof. Tevfik Bultan. (2011), Singapur University of Technology and Design, con el profesor Sun Jun (2011), VERIMAG (Francia), con el profesor Goran Frehse (2011), Tampere University of Technology (Finlandia), con el profesor Yevgeni Koucheryavy (2011), University of Pisa (Italia), con el profesor Antonio Brogi (2011), National University of Singapore (2011) y SRI International (USA), con la doctora Grit Denker (prevista en 2012).

Por último, nos gustaría señalar la incorporación de investigadores extranjeros al equipo investigador de la UMA por periodos que van desde varios meses a cuatro años, tanto para estancias (predoctorales o postdoctorales) como para la realización de sus tesis doctorales. En particular, el equipo solicitante ha acogido a Gwen Salaün (actualmente profesor en INRIA Grenoble Rhône-Alpes, Francia), Christophe Joubert (actualmente investigador de INRIA Grenoble Rhône-Alpes,

Francia), Pekka Perala (de VTT, Finlandia), Iwan Adhicandra (postdoc financiado parcialmente por una acción Marie Curie concedida a ERCIM) y Meriem Ouederni (actualmente profesora de la Univ. de Nantes, Francia).

Cooperación Nacional

Además de la colaboración internacional que suponen las actividades mencionadas, el equipo solicitante ha mantenido también relaciones estables en el pasado con el grupo de la Universidad Politécnica de Valencia, dirigido por María Alpuente y el grupo de la Universidad de Castilla-La Mancha, liderado por Ginés Moreno y Pascual Julián, en cuyo contexto se han desarrollado los proyectos CPD (TIC1995-0433-C03), TREND (TIC1998-0445-C03), STREAM (TIC2001-2705-C03) y SELF (TIN2004-07943-C04-01). También se han mantenido contactos estables con los grupos dirigidos por Juan José Moreno (Universidad Politécnica de Madrid) y Óscar Pastor (Universidad Politécnica de Valencia). En el primer caso, fruto de dicha cooperación ha sido la creación del consorcio español SpaRCIM, financiado por el MCyT y constituido por 5 universidades y 1 instituto de investigación, a través del cual España es miembro de ERCIM. Con el grupo de Óscar Pastor se ha conseguido fomentar y estabilizar la celebración anual de un congreso iberoamericano en Ingeniería del Software (IDEAS, actualmente ClbSE), que se ha convertido en uno de los referentes en este campo en Iberoamérica. También se ha empezado a mantener una colaboración con el grupo de Fernando Orejas de la Universidad Politécnica de Cataluña. Con el Grupo UCASE de la Universidad de Cádiz, se realizan colaboraciones a través de Guadalupe Ortiz Bellot, como son la creación de un congreso internacional en el área de servicios en la Internet del Futuro (WAS4FI), así como la edición de un libro que recoge relevantes aportaciones sobre el área de los servicios adaptativos para reutilización del software.

Dentro aún del contexto nacional, el equipo también ha participado de forma decisiva en la organización inicial y desarrollo posterior de diversos eventos e iniciativas de especial importancia en el campo de la programación declarativa, los lenguajes de programación y la ingeniería del software. En particular, nuestro equipo fue uno de los que alentó el nacimiento de PROLE (las Jornadas de Programación y Lenguajes) y también JISBD (las Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos). Cabe destacar también que se participa activamente en la plataforma española de Software y Servicios (INES) formando parte de su Comité Gestor, así como en Comité Técnico de Normalización AENOR 71, Subcomité 38 “Servicios y aplicaciones distribuidas, AEN/CTN71/SC38”.

Finalmente, como se puede comprobar en los curriculum vitae de los participantes, la cantidad y calidad de las contribuciones científicas del equipo investigador es muy elevada, como corresponde a un grupo consolidado.

6.1. FINANCIACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA (PROYECTOS Y CONTRATOS DE I+D+i) DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO INVESTIGADOR

Título del proyecto o contrato	Relación con la solicitud que ahora se presenta (1)	Investigador principal	Subvención concedida o solicitada EUROS	Entidad financiadora y referencia del proyecto	Período de vigencia o fecha de la solicitud (2)
SELF: Formalismos Ágiles en Ingeniería del Software	1	Ernesto Pimentel	191.600	MEC TIN2004-07943-C04-01	2005-2007 (C)
CARESS: Construcción y Adaptación de Servicios Software Fiables	1	Ernesto Pimentel	55.000	MEC TIN2007-67134	2007-2008 (C)
Entorno para el Desarrollo de una Nueva Generación de Redes Sociales Móviles basadas en Android	3	Ernesto Pimentel	24.000	MICINN TSI-020100-2008-3528	2008 (C)
Entorno para el Desarrollo de una Nueva Generación de Redes Sociales Móviles basadas en Android	3	Ernesto Pimentel	54.000	MICINN TSI-020100-2009-342	2009 (C)
ResCUE: Composición de software fiable en entornos ubicuos	1	Ernesto Pimentel	284.000	MICINN TIN2008-05932/TIN	2009-2012 (C)
TECRAIL: Tecnologías de comunicación LTE para la conducción automática y el control ferroviario	2	Pedro Merino	472.676	MICYNN INNPACTO IPT-2011-1034-370000	2011-2014 (C)
SMEPP: Secure Middleware for Embedded Peer to Peer Systems	3	Manuel Díaz (UMA)	2.899.167	Unión Europea IST-033563	2006-2009 (C)

Aspect-Oriented, Model-Driven Product Line Engineering (AMPLE)	3	Awais Rashid (Lancaster University) IP UMA: Lidia Fuentes	3.789.000	Unión Europea STREP IST-33710	2006-2009 (C)
Formal Verification of Object-Oriented Software	2	Ernesto Pimentel	105.000	Unión Europea COST IC0701	2008-2009 (C)
European Partnership for Development in Mobile Technology Competence (MoTeCo)	2	Pedro Merino	53.000	Unión Europea Leonardo da Vinci	2008-2010 (C)
NESSoS: Network of Excellence on Engineering Secure Future Internet Software Services and Systems	2	Javier López (UMA)	293.670	Unión Europea FP7-ICT-2009-256980	2010-2014 (C)
Alain Bensoussan Career Development Enhancer (ABCDE)	3	ERCIM IP UMA: Pedro Merino	8.000.000	Unión Europea FP7- Marie Curie Grant No. 246016	2010-2014 (C)
Desarrollo e implementación de sistemas P2P Seguros	3	José María Troya (UMA)	43.000	Junta de Andalucía P05-TIC52	2006-2008 (C)
PICASSO: Propuesta Integrada para la CALidad de Sistemas Software	1	Ernesto Pimentel	170.536	Junta de Andalucía Proyecto de Excelencia P06-TIC2250	2007-2009 (C)
Técnicas para mejorar la habilidad y las prestaciones de los servicios de Internet sobre Telefonía Móvil	1	Pedro Merino	293.418	Junta de Andalucía P07-TIC03131	2008-2010 (C)
MOVIS: Modernización y visualización de sistemas de información complejos	3	Antonio Vallecillo (UMA)	247.000	Junta de Andalucía Proyecto de Excelencia P07-TIC-3184	2008-2011 (C)

Nuevas Extensiones para el Uso de Técnicas Formales en Modelado, Verificación, Síntesis y Optimización de Sistemas Empotrados y de Comunicaciones Móviles: Aplicación a la Certificación de Protocolos LTE	1	María del Mar Gallardo	144.928	Junta de Andalucía Proyecto de Excelencia P11-TIC-7659	2012-2015 (C)
Software de Comunicaciones para redes de comunicaciones móviles 3.9G y 4G	2	AT4 wireless IP UMA: Pedro Merino	122.153	Contrato con incentivo de la Junta de Andalucía	2008 (C)
Investigación en metodologías de diseño y desarrollo de software para la emulación de elementos de comunicaciones inalámbricas	2	AT4 wireless IP UMA: Pedro Merino	1.083.677	Contrato con incentivo del Proyecto Integrado WILTE2 del CDTI	2009-2012 (C)
Desarrollo de una Arquitectura Software para la Construcción de Sistemas de Ayuda a la Toma de Decisiones en Gestión de Aguas	2	BEFESA Medio Ambiente IP UMA: Pedro Merino	205.000	Contrato dentro del consorcio CENIT TECNOAGUA	2009-2010 (C)
GLASS-COSMO: Servicio Operativo en la Nube	1	Pedro Merino Ernesto Pimentel	1.261.292	MICINN INTERCONNECTA	2012-2014 (S)
CRONOS: Continuidad asistencial eficiente para pacientes crónicos pluripatológicos	3	Ernesto Pimentel	149.882	MICINN INTERCONNECTA	2012-2014 (S)
RESOLUTION: Cloud Resource Usage Optimization for Mobile Execution Platforms	1	Ernesto Pimentel	235.800	Unión Europea FP7-315282	2012-2014 (S)
LUXE: on-Line User eXperiencE: Service Customization in the Future Internet Society	1	Ernesto Pimentel	418.800	Unión Europea FP7-317817	2012-2014 (S)

7. CAPACIDAD FORMATIVA DEL PROYECTO Y DEL EQUIPO SOLICITANTE

La capacidad formativa del equipo solicitante viene avalada por las tareas de formación que ha venido realizando desde su constitución. Entre los participantes en el proyecto, 10 poseen el título de doctor y 5 no lo poseen actualmente. De entre estos últimos, uno de ellos (José Antonio Martín) ya tiene la tesis depositada para su defensa en las próximas semanas, y otros dos (Laura Panizo y Alberto Salmerón) prevén la defensa de sus tesis a lo largo del año 2012. Esto significa que al comienzo del proyecto, en caso de ser aprobado, el equipo estará compuesto por 13 doctores y 2 no doctores, lo que garantiza una capacidad formativa muy amplia.

Como muestra de esta capacidad formativa, los miembros del equipo han participado directamente en las siguientes tareas formativas:

- La dirección de diversas tesis doctorales en los últimos 3 años por parte de participantes del equipo. Así, el investigador principal, Ernesto Pimentel ha dirigido 3 tesis doctorales y codirigido otra con Carlos Canal. A su vez, Carlos Canal ha codirigido otra tesis más, y del mismo modo, Pedro Merino y María del Mar Gallardo, también han dirigido recientemente sendas tesis doctorales. Todas estas tesis se han desarrollado en el contexto del proyecto ReSCUE, financiado en la convocatoria de 2008 en el mismo programa al que se solicita el presente proyecto. Algunos de los doctores formados, continúan colaborando en la actividad del grupo y participan en la propuesta, mientras que otros (Javier Cámara, David Sanán y Meriem Ouederni) están realizando estancias post-doc en otros centros de investigación, o han sido contratados como docentes e investigadores en universidades extranjeras. Esta demanda de nuestros doctores por parte de otras instituciones internacionales, muestra claramente que la capacidad de formación también se traduce en calidad. El resto de doctores están en condiciones de asumir la dirección de trabajos de investigación con envergadura para la realización de tesis, lo que sitúa al equipo en una excelente posición para formar investigadores. Como se ha indicado, también se estima que algunos de los no doctores del equipo defiendan sus tesis antes del comienzo del proyecto, lo que aumentará aún más la capacidad formativa.
- La dirección y coordinación de becarios FPI (Formación de Personal Investigador) y FPU (Formación de Profesorado Universitario) que han defendido sus tesis en el marco de proyectos anteriores liderados por miembros del equipo investigador. Un total de 4 becarios de esta naturaleza (financiados a nivel nacional o de la Comunidad Autónoma) forman o han formado parte del equipo investigador.
- La acogida de profesorado en formación procedentes de universidades sudamericanas para la realización de sus tesis doctorales.
- La realización de cursos de máster con orientación de investigación centrados en las líneas de trabajo del grupo. Algunos de estos cursos/seminarios se han ofertado como parte del máster oficial "Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial" de la E.T.S. de Ingeniería Informática de la Universidad de Málaga, del que el investigador principal de esta propuesta es coordinador desde hace algunos años. Del mismo modo, muchos de estos cursos se han impartido en otras universidades, como la Universidad de Ciencias Informáticas (Cuba), Universidad de Barinas (Venezuela), Universidad de Huelva (España), etc.
- La realización de un curso de programación para dispositivos móviles, formando a los alumnos en los principios básicos de Symbian y Qt. Este curso fue preparado a partir de los resultados generados por el proyecto MoTeCo, financiado por el programa europeo Leonardo Da Vinci.

- El investigador principal de la actual propuesta es Coordinador del Programa de Doctorado en “Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial”, que ha conseguido recientemente la Mención de Excelencia. Varios de los investigadores participantes son parte del claustro de doctores de dicho Programa de Doctorado.
- También cabe destacar los sólidos contactos que posee el grupo de investigación con centros de investigación extranjeros (entre ellos, la Universidad de Pisa en Italia, University College London en el Reino Unido, University of Stuttgart, Technical University of Wien, Stanford Research Institute en Estados Unidos, varios institutos del INRIA en Francia, Centre for Research and Technology Hellas - CERTH-ITI, etc.), lo que está permitiendo a gran parte de los miembros del grupo realizar actividades complementarias de formación en dichos equipos, además de preparar propuestas de proyectos europeos.

Respecto a la capacidad formativa derivada específicamente de la temática del proyecto, centrado en el desarrollo de técnicas rigurosas para la ingeniería del software y complementado con el desarrollo de tecnología orientada a servicios, resulta especialmente adecuado para la iniciación de becarios que deseen desempeñar sus labores de investigación en este ámbito. De este modo, los becarios pueden encontrar un terreno ideal en el que llevar a la práctica los temas tratados en los estudios de tercer ciclo, impartidos en los programas de doctorado en los que miembros del equipos están involucrados, así como profundizar en el estudio de dichos temas, completando de esta manera su formación como investigadores. En particular, la relevancia y originalidad de los temas a tratar en los paquetes de trabajo técnicos de la propuesta garantizan la realización de tesis doctorales de impacto. Todo ello justifica sobradamente que el grupo solicitante está en condiciones de recibir becarios FPI asociados al proyecto de investigación solicitado.

Referencias

- [A95] Andersen, H.R. 1995. Partial model checking (extended abstract). In Proc. of LICS'95, IEEE Computer, pages 398–407.
- [ABGHKLPRSVW05] Artho, C., Barringer, H., Goldberg, A., Havelund, K., Khurshid, S., Lowry M., Pasareanu, C., Rolu, G., Sen, K., Visser, W., Washington, R., “Combining test case generation and runtime verification”. Theoretical Computer Science, Volume 336, Issues 2–3, pp. 209-234, 2005.
- [ADGHLPRV03] Artho, C., Drusinsky, D., Goldberg, A., Havelund, K., Lowry, M., Pasareanu, C., Rosu, G., and Visser, W., “Experiments with test case generation and runtime analysis”. In Proceedings of the abstract state machines: 10th international conference on Advances in theory and practice (ASM'03). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 87-108, 2003.
- [ADMR12] Álvarez A., Diaz, A., Merino, P. and Rivas, F.J., “Field measurements of mobile services with Android smartphones”, IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2012
- [AGPS11] Adalid, D., Gallardo, M.M., Merino, P., Salmerón, A., “TJT: testing temporal logic in JAVA programs”, En Ernesto Jiménez y Sergio Arévalo, Actas de las XIX Jornadas de Concurrencia y Sistemas Distribuidos, JCSD 2011, pp. 1-18, La Granja de San Ildefonso, Segovia. 8,9, y 10 de junio de 2011.. Dpto. de Publicaciones de la Escuela Universitaria de Informática de Madrid, 2011.
- [AGPV05] Alpuente, M., Gallardo, M.M., Pimentel, E., Villanueva, A., “A semantic framework for the abstract model checking of tccp programs”. Theoretical Computer Science Journal, 346(1), pp. 58-95, 2005.
- [AGPV06] Alpuente, M., Gallardo, M.M., Pimentel, E., Villanueva, A., “Verifying Real-Time Properties of tccp Programs”, Journal of Universal Computer Science, 12(11), pp. 1551-1573, 2006.
- [AINT07] Autili, M., Inverardi, P., Navarra, A. and Tivoli, M.. 2007. SYNTHESIS: A Tool for Automatically Assembling Correct and Distributed Component-based Systems. In Proc. of ICSE'07, pages 784–787.
- [AK05] d'Amorim, M. and Havelund, K., “Event-based runtime verification of java programs”, In Proceedings of the third international workshop on Dynamic analysis (WODA '05), pp. 1-7, ACM, New York, NY, USA, 1-7, 2005.
- [ASV09] M. M. Andreozzi, G. Stea, C. Vallati, “A framework for large- scale simulations and output result analysis with ns-2”, Simutools '09: Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, pp. 1–7, 2009.
- [AVMM04] Aggarwal, R., Verma, K., Miller, P. and Milnor, W. Constraint Driven Web Service Composition in METEOR-S. In Proc. of SCC'04, pages 23–30. IEEE Computer Society, 2004.
- [BBC05] Brogi, A., Bracciali, A. and Canal, C. 2005. A formal approach to component adaptation. The Journal of Systems and Software, 74:45–54. Special Issue on Automated Component-Based Software Engineering.
- [BBGORT06] Becker, S., Brogi, A., Gorton, I., Overhage, S., Romanovsky, A. and Tivoli, M. Towards an Engineering Approach to Component Adaptation. In Architecting Systems with Trustworthy Components, volume 3938 of Lecture Notes in Computer Science, pages 193–215. Springer, 2006.
- [BC08] Brogi, A. and Corfini, S., Ontology- and behavior-aware discovery of Web service compositions. Int. J. Cooperative Inf. Syst., 17(3):319–347, 2008.
- [BCP06] A. Brogi, C. Canal, E. Pimentel. On the Semantics of Software Adaptation, Science of Computer Programming, 61(2):136–151, Elsevier, 2006.

- [BCP08] Brogi, A., Corfini, S. and Popescu, R. Semantics-Based Composition-Oriented Discovery of Web Services. *ACM Transactions on Internet Technology*, 8(4):19:1– 19:39, 2008.
- [BDKLLPY02] Bengtsson, J., Griffioen, W. O. D., Kristoffersen, K.J., Larsen, K.G., Larsson, F., Pettersson, and Yi, W. Automated Analysis of an Audio Control Protocol Using Uppaal. In *Journal of Logic and Algebraic Programming*, volumes 52-53, pages 163-181, Holger Hermanns and Joost-Pieter Katoen (eds.). July-August, 2002.
- [BHRT03] Benatallah, B., Hacid, M., Rey, C. and Toumani, F. Request Rewriting-Based Web Service Discovery. In *Proc. of ISWC'03*, volume 2870 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 242–257. Springer, 2003.
- [BP07] Brogi, A. and Popescu, R. 2006. Automated generation of BPEL adapters. In *Proc. of ICSSOC '06*, volume 4294 of *LNCS*, pages 27–39.
- [BPT10] Piergiorgio Bertoli, Marco Pistore, Paolo Traverso. “Automated composition of Web services via planning in asynchronous domains”. 2010.
- [BPSKC04] Broens, T., Pokraev, S., van Sinderen, M., Koolwaaij, J. and Costa, P. Context-Aware, Ontology-Based Service Discovery. In *Proc. of EUSAI'04*, volume 3295 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 72–83. Springer, 2004.
- [BS89] Bakry, S.H.; Samarkandy, M.K.; , "Computer investigation of telephone-traffic capacity for cellular mobile radio systems," Vehicular Technology Conference, 1989, IEEE 39th , vol., no., pp.504-507 vol.2, 1-3 May 1989
- [CCGM10] de la Cámara, P., Castro, J.R., Gallardo, M-M., Merino, P., “Verification support for ARINC-653-based avionics software”, In *Software Testing, Verification and Reliability*, John Wiley&Sons (en prensa), 2010.
- [CCP10] Cubo, J., Canal, C. and Pimentel, E. Context-Aware Service Discovery and Adaptation Based on Semantic Matchmaking. In *Proc. of ICIW'10*, pages 554–561. IEEE Computer Society, 2010.
- [CCP11] Cubo, J., Canal, C. and Pimentel, E. 2011. Context Aware Composition and Adaptation Based on Model Transformation. *Journal of Universal Computer Science*, 17(5): 777-806.
- [CDH00] Corbett, J. C., Dwyer, M.B., Hatcliff, J., Laubach, S., Păsăreanu, C. S., Robby, and Zheng, H. Bandera: extracting finite-state models from Java source code. In *Proceedings of the 22nd international Conference on Software Engineering (ICSE '00)*. ACM, New York, NY, p.439-448, 2000.
- [CDVM10] M. Emilia Cambroner, Gregorio Díaz, Valentín Valero, Enrique Martínez. “Validation and verification of Web services choreographies by using timed automata”. 2010.
- [CGM06] de la Cámara, P., Gallardo, M.M. and Merino, P. Abstract Matching for Software Model Checking . In Antti Valmari (Ed.). *Model Checking Software: 13th International SPIN Workshop*, Vienna, Austria, March 30 - April 1, 2006. *Proceedings . Lecture Notes in Computer Science*. 3925. págs. 182-200. Springer: Berlin, 2006.
- [CGMS05] de la Cámara, P., Gallardo, M. M., Merino, P., and Sanán, D. Model checking software with well-defined APIs: the socket case. In *Proceedings of the 10th international Workshop on Formal Methods For industrial Critical Systems. FMICS '05*. ACM, New York, NY, 17-26. 2005
- [CGMS09] de la Cámara, P., Gallardo, M. M., Merino, P., Sanán, D., “Checking the Reliability of Socket Based Communication Software”, In *Int. Journal on Software Tools For Technology Transfer*, no.5, vol.11, p.359-374, 2009.
- [CGP99] Clarke, E.M., Grumberg, O. and Peled, D.A. *Model Checking*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1999.
- [CIJKS00] Casati, F., Ilnicki, S., Jin, L.J., Krishnamoorthy, V. and Shan, M.C. 2000. Adaptive and Dynamic Service Composition in eFlow. *LNCS* 1789, pages 13-31.
- [CMP06] Canal, C., Murillo, J. and Poizat, P. Software Adaptation. *L'Objet*, 12(1):9–31, 2006. Special Issue on Coordination and Adaptation Techniques for Software Entities.

- [CMS11] C. Cicconetti, E. Mingozzi, G. Stea, "An integrated framework for enabling effective data collection and statistical analysis with ns-2", WNS2 '06: Proceeding from the 2006 workshop on ns-2: the IP network simulator, ACM, New York, NY, USA, p. 11, 2006.
- [CMSCOP09] Cámara, J., Martín, J.A., Salaün, G., Cubo, J., Ouederni, M., Canal, C. and Pimentel, E. 2009. ITACA: An Integrated Toolbox for the Automatic Composition and Adaptation of Web Services. In Proc. of ICSE '09, pages 627–630. IEEE Computer Society.
- [CPS08] Canal, C., Poizat, P. and Salaün, G. Model-based adaptation of behavioural mismatching components. IEEE Transactions on Software Engineering, 4(34):546–563, 2008.
- [CR07] Chen F. and Rou, G., Mop: "an efficient and generic runtime verification framework", In Proceedings of the 22nd annual ACM SIGPLAN conference on Object-oriented programming systems and applications (OOPSLA '07), pp. 569-588, ACM, New York, NY, USA, 2007.
- [CSC08] J. Cámara, G. Salaün, C. Canal. Run-time Composition and Adaptation of Mismatching Behavioural Transactions, Journal of Universal Computer Science (JUICS), 14(13): 2182-2211, 2008.
- [SCCP07] Cubo, J., Salaün, G., Cámara, J., Canal, C. and Pimentel, E. Context-Based Adaptation of Component Behavioural Interfaces. In Proc. of COORDINATION'07, volume 4467 of Lecture Notes in Computer Science, pages 305–323. Springer, 2007.
- [CSRR09] Cubo, J., Sama, M., Raimondi, F. and Rosenblum, D. A Model to Design and Verify Context-Aware Adaptive Service Composition. Sixth IEEE International Conference on Services Computing (SCC'09), Bangalore (India) 2009. IEEE Computer Society Press, 2009.
- [CZ03] A. E. Conway, Y. Zhu. "A simulation-based methodology and tool for automating the modeling and analysis of voice-over-ip perceptual quality". Performance Evaluation 54 (2), Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation, pp. 129–147, 2003.
- [DA00] Dey, A. and Abowd, G. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In Proc. of Workshop on the What, Who, Where, When and How of Context-Awareness, pages 304–307, 2000.
- [DOS12] Durán, F., Ouederni, M., and Salaün, G. A Generic Framework for N-Protocol Compatibility Checking. Science of Computer Programming. Elsevier, 2012. To appear.
- [DM10] Díaz, A., Merino, P. 2010. Testbed for Energy Profile Characterization of IP services in Smartphones over Live Networks, ACM/Springer Mobile Networks and Applications (MONET), vol. 15, no. 3, pp. 330–343, 2010.
- [DMR10a] Diaz, A., Merino, P. and Rivas, F.J. Mobile Application Profiling for Connected Mobile Devices. IEEE Pervasive Computing, pp. 54-61, January-March, 2010.
- [DMR10b] Diaz, A., Merino, P. and Rivas, F.J., "QoS Analysis of Video Streaming Service in Live Cellular Networks", in Computer Communications Elsevier, Vol. 33, Issue 3, 26 February 2010.
- [DMS11] A. Diaz, P. Merino y A. Salmeron, "Obtaining Models for Realistic Mobile Network Simulations using Real Traces", IEEE Communications Letters, vol. 15, n° 7, pp. 782-784, 2011.
- [DRCCHAJ10] Dukkapat, N., Refice, T., Cheng, Y., Chu, J., Herbert, T., Agarwal, A., Jain, A., and Sutin, N., "An argument for increasing TCP's initial congestion window". SIGCOMM Computer Communication Review 40, 3, June 2010
- [DSW06] Dumas, M., Spork, M. and Wang, K. Adapt or Perish: Algebra and Visual Notation for Service Interface Adaptation. In Proc. of BPM'06, volume 4102 of LNCS, pages 65–80. Springer, 2006.
- [FEKMRU07] Foster H. Emmerich, W. Kramer, J., Magee, J., Rosenblum, D. and Uchitel, S. Model Checking Service Compositions under Resource Constraints. In Proc. of ESEC/FSE'07. ACM Press, 2007.

- [FL10] Fiadeiro, J. and Lopes, A. A Model for Dynamic Reconfiguration in Service-Oriented Architectures. In Proc. of ECSA'10, volume 6285 of Lecture Notes in Computer Science, pages 70–85. Springer, 2010.
- [GMMR05] Gallardo, M.M., Martínez, J., Merino, P. and Rodriguez, G. Integration of reliability of performance analyses for active network services. In Electronic Notes in Theoretical Computer Science. vol. 133. págs. 217-236. Elsevier, 2005.
- [GMMNP07] Gallardo, M.M., Martínez J., Merino P., Núñez, P., Pimentel, E.: PiXL: Applying xml standards to support the integration of analysis tools for protocols. Science of Computer.Programing. 65(1): 57-69, 2007.
- [GMS09] Gallardo, M.M., Merino, P., Sanán, D., “Model Checking Dynamic Memory Allocation in Operating Systems”, In Journal of Automated Reasoning, no.2-4, vol.42, p.229-264, 2009.
- [GRR10] García, J., Ruiz, D. and Ruiz-Cortés, A. A Model of User Preferences for Semantic Services Discovery and Ranking. In Proc. of ESWC'10, volume 6089 of Lecture Notes in Computer Science, pages 1–14. Springer, 2010.
- [GRT06]Garcia-Fanjul, J., de la Riva,C. and Tuya, J.. Generation of Conformance Test Suites for Compositions of Web Services Using Model Checking. In Proc. of AIC-PART'08. IEEE Computer Society, 2006.
- [GS10] Gallardo, M. M., Sanán D, “Verification of Dynamic Data Tree with mu-calculus extended with Separation”, En 8th International conference on software engineering and formal methods, SEFM 2010, p.211-221, 2010.
- [GTR07] Garcia-Fanjul, J., Tuya, J. and De La Riva, C. Generating test cases specifications for BPEL compositions of web services using SPIN. In Proc. of the International Workshop on Web Services Modeling and Testing WSMaTe 2006, pages 83–94, 2006.
- [H03] G. J. Holzmann, “The SPIN Model Checker: Primer and Reference Manual”, Addison-Wesley Professional, 2003.
- [H07] Hameurlain, N. Flexible Behavioural Compatibility and Substitutability for Component Protocols: A Formal Specification. In Proc. of SEFM'07, pages 391–400. IEEE Computer Society, 2007.
- [HDZ00] Hatcliff, J., Dwyer, M. B. and Zheng, H. Slicing Software for Model Construction. Higher Order Symbol. Comput. 13, 4 (Dec. 2000), p.315-353, 2000.
- [HG08] Havelund, K., Goldberg, A., “Verify Your Runs”, Verified Software: Theories, Tools, Experiments, Lecture Notes in Computer Science, vol. 4171, pp. 374-383, Springer Berlin / Heidelberg, 2008
- [HJ04] Holzmann, G. J. and Joshi, R. Model-Driven Software Verification, In Proc. of SPIN 2004, LNCS, vol.2989, p.76-91, 2004.
- [HR04] Havelund, K., and Roġu, G., “An Overview of the Runtime Verification Tool Java PathExplorer”. Formal Methods in System. Design, vol. 24, pp. 189-215, 2004.
- [HS99] Holzmann, G.J. and Smith, M. Software model checking: Extracting verification models from source code. In Invited Paper. Proc. PSTV/FORTE99 Pulb. Kluwer, 1999.
- [ITUE500] ITU-T, Recomendación E.500 Principios y medida de la intensidad de tráfico, 1998
- [KB04] Ketfi, A. and Belkhatir, N. A Metamodel-Based Approach for the Dynamic Reconfiguration of Component-Based Software. In Proc. of ICSR'04, volume 3107 of Lecture Notes in Computer Science, pages 264–273. Springer, 2004.
- [HCDB99] Hinton, H., Cowan, C., Delcambre, L. and Bowers, S. SAM: Security adaptation manager. In Proc. Of ACSAC'99, IEEE, 1999, pages 361 – 370,1999
- [HK06] Hirschfeld, R. and Kawamura, K. 2006. Dynamic service adaptation. Software: Practice and Experience 36 (11-12), pages 1115-1131.
- [KFS06] Klusch, M., Fries, B. and Sycara, K. Automated Semantic Web Service Discovery with OWLS-MX. In Proc. of AAMAS'06, pages 915–922. ACM Press, 2006.

- [KH03] Kouadri, S. and Hirsbrunner, B. Towards a Context-Based Service Composition Framework. In Proc. of ICWS'03, pages 42–45, 2003.
- [KLPF05] Keller, U., Lara, R., Lausen, H., Polleres, A. and Fensel, D. Automatic Location of Services. In Proc. of ESWC'05, volume 3532 of Lecture Notes in Computer Science, pages 1–16. Springer, 2005.
- [KM90] Kramer, J. and Magee, J. The Evolving Philosophers Problem: Dynamic Change Management, IEEE Transactions on Software Engineering 16 (11) (1990), 1293–1306.
- [KMLA11] Krause, C., Maraïkar, Z., Lazovik, A. and Arbab, F. Modeling Dynamic Reconfigurations in Reo using High-Level Replacement Systems, Sci. Comput. Program. 76 (2011), 23–36.
- [LA99] Lee, P. and Anderson, T. Fault Tolerance Principles and Practice (Dependable Computing and Fault-Tolerant Systems. Springer, 1999.
- [LAK10] Hsin-Hung Lin, Toshiaki Aoki, Takuya Katayama. “Non-regular Adaptation of Services using Model Checking”. 2010
- [LH03] Li, L. and Horrocks, I. A Software Framework for Matchmaking Based on Semantic Web Technology. In Proc. of WWW'03, pages 331–339. ACM Press, 2003.
- [LPY97] K. G. Larsen, P. Pettersson, and W. Yi. UPPAAL in a Nutshell. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, 1(1-2):134–152, 1997.
- [LS08] Leucker, M., Christian, S., “A brief account of runtime verification”, Journal of Logic and Algebraic Programming, vol. 78, n° 5, pp. 293-303, 2009.
- [LSZ06] Jin Song Dong, Yang Liu , Jun Sun, and Xian Zhang. “Verification of Computation Orchestration Via Timed Automata”. 2006.
- [LYR02] Li, J., Yarvis, M. and Reiher, P. 2002. Securing distributed adaptation, Computer Networks 38 (3) (2002) 347–371.
- [M03] Martinelli, F. 2003. Analysis of security protocols as open systems, TCS 290 (1) (2003) 1057–1106.
- [M96] Medvidovic, N. ADLs and Dynamic Architecture Changes. In Proc. of ISAW '96, pages 24–27. ACM Press, 1996.
- [MD08] Mens, T. and Demeyer, S. Software Evolution. Springer, 2008.
- [MFGI06] Mokhtar, S., Fournier, D., Georgantas, N. and Issarny, V. Context-Aware Service Composition in Pervasive Computing Environments. In Proc. of RISE'05, volume 3943 of Lecture Notes in Computer Science, pages 129–144. Springer, 2006.
- [MKB07] S. Mitra, R. Kumar and S. Basu. “Automated Choreographer Synthesis for Web Services Composition Using I/O Automata”. 2007.
- [MM11] Martinelli, F. and Matteucci, I. A framework for automatic generation of security controller, Software Testing, Verification and Reliability. En imprenta.
- [MP10a] Martín, J.A. and Pimentel, E. 2010. Contracts for Security Adaptation. JLAP, número especial de FLACOS'09, Elsevier.
- [MP10b] Martín, J.A. and Pimentel, E. 2010. Feature-Based Discovery of Services with Adaptable Behaviour. In Proc. of ECOWS'10. IEEE Computer Society.
- [MS10] Merino, P. and Salmerón, A. Combining SPIN with ns-2 for protocol optimization. 17th International SPIN Workshop on Model Checking of Software (SPIN 2010), Enschede, Holanda, Septiembre 2010.
- [MS10-2] Merino, P. and Salmerón, A. Analysis and optimization of video download on mobile devices. XX Jornadas Telecom I+D, Valladolid, España, Septiembre 2010

- [NBMCC07] Nezhad, H.R.M., Benatallah, B., Martens, A., Curbera, A. and Casati, F. 2007. Semi-automated adaptation of service interactions. In Proceedings of the 16th International Conference on the World Wide Web (WWW '07), pages 993–1002.
- [NS2] The Network Simulator - ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [NS03] Nethercote, N., Seward, J., “Valgrind: A Program Supervision Framework”, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, vol. 89, n° 2, pp.44-66, 2003.
- [NSNK97] Noble B.D., Satyanarayanan. M., Nguyen G.T., and Katz R.H., “Tracebased mobile network emulation,” SIGCOMM Comput. Commun. Rev., vol. 27, pp. 51–61, October 1997.
- [OPNET] OPNET Technologies, OPNET Modeler. http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html
- [OSP10] M. Ouederni, G. Salaün and E. Pimentel. Quantifying Service Compatibility: A Step Beyond the Boolean Approaches. In Proc. of ICSOC'10. Vol. 6470 of LNCS, Springer, pp. 619626. California (San Francisco), 2010.
- [OSP11] M. Ouederni, G. Salaün, and E. Pimentel .Measuring the Compatibility of Service Interaction Protocols. In Proc.of SAC'11. ACM. pp. 1560-1567. Taiwan (Taichung), 2011.
- [P03] Peled, D., “Model Checking and Testing Combined”. ICALP, pp. 47-63, 2003
- [P09] Padovani, L. Contract-based discovery and adaptation of Web services. 2009. SFM, pages 213–260.
- [PTDL07] Papazoglou, M.P., Traverso, P., Dustdar, S. and Leymann, F. 2007. Service-Oriented Computing: State of the Art and Research Challenges, Computer 40 (11) (2007) 38–45.
- [RVS10] Ravn, A.P., Vighio, S. and Srba, J. A Formal Analysis of the Web Services Atomic Transaction Protocol with Uppaal. In Proc. of the 4th International Symposium On Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation (ISOLA'10), LNCS, Springer-Verlag, 2010.
- [RSV11] Ravn, A.P., Srba, and J.Vighio, S. Modelling and Verication of Web Services Business Activity Protocol. In proc. of the 17th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems, 2010.
- [SAW94] Schilit, B., Adams, N. and Want, R. Context-Aware Computing Applications. In Proc. of WMCSA'94, pages 85–90. IEEE Computer Society, 1994.
- [SCADE] Esterel Technologies. SCADE Suite. <<http://www.esterel-technologies.com/products/scade-suite/>>
- [SMZ07] Spanoudakis, G., Mahbub, K. and Zisman, A. A Platform for Context Aware Runtime Web Service Discovery. In Proc. of ICWS'07, pages 233–240. IEEE Computer Society, 2007.
- [Tal10] Taleghani, A. Using Software Model Checking for Software Certification. Doctoral dissertation. University of Waterloo, 2010. Available at: <http://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/5484>
- [TIRL03] Tartanoglu, F., Issarny, V., Romanovsky, A. and Levy, N. Dependability in the Web Services Architecture. In Proc. of ADS'03, volume 2677 of Lecture Notes in Computer Science, pages 90–109. Springer, 2003.
- [TS32401] 3GPP, TS 32.401 Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication management; Performance Management (PM); Concept and requirements, 2011
- [V00] Visser, W., Park, S. and Penix, J. Applying predicate abstraction to model checking object-oriented programs. Proc. 3rd ACM SIGSOFT Workshop on Formal Methods in Software Practice, August 2000.
- [YKKY08] T. Ye, H. T. Kaur, S. Kalyanaraman, M. Yuksel, “Large-scale network parameter configuration using an on-line simulation framework”, IEEE/ACM Transactions on Networking 16 (4), pp. 777–790, 2008.
- [WLF01] Wermelinger, M., Lopes, A. and Fiadeiro, J.L. A Graph Based Architectural (Re)configuration Language. In Proc. of ESEC/FSE'01, pages 21–32. ACM Press, 2001.

[WVKT06] Wang, X., Vitvar, T., Kerrigan, M. and Toma, I. A QoS-Aware Selection Model for Semantic Web Services. In Proc. of ICSSOC'06, volume 4294 of Lecture Notes in Computer Science, pages 390–401. Springer, 2006.