



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2016/2017

Proyecto nº 27

Empleo de herramientas de simulación con fines docentes para desarrollar prácticas de sistemas altamente distribuidos.

Responsable del proyecto: Alberto Núñez Covarrubias

Facultad de Informática

Departamento de Sistemas Informáticos y Computación

## 1.- Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

Las aplicaciones desarrolladas en las prácticas de la asignatura PSD (Programación de Sistemas Distribuidos) pueden, normalmente, ejecutarse en un solo ordenador (“stand-alone”). Sin embargo, el hecho de que los alumnos no tengan más opción que ejecutar estas aplicaciones en un ordenador, complica la labor docente en varios aspectos. Primero, los aspectos de diseño enfocados al rendimiento de las aplicaciones no se practica. Segundo, es fácil que el alumno realice, sin ser consciente de ello, una aplicación que no pueda ser desplegada en múltiples ordenadores, por ejemplo, porque varios procesos de la aplicación comparten datos locales. Finalmente, el alumno que no experimente ni visualice de alguna manera la ejecución distribuida de su aplicación puede no llegar a comprender su funcionamiento, con lo cual la asignatura puede resultar menos motivadora.

No obstante, se pueden estudiar posibles soluciones a este problema. Por ejemplo, podría considerarse la ejecución de cada proceso de la aplicación en una máquina virtual distinta, alojadas todas ellas en un único ordenador físico. Sin embargo, la virtualización no escala a sistemas altamente distribuidos. Otra posible solución sería utilizar un test bed de enseñanza gestionado por un conjunto de universidades y centros de investigación, de manera similar al test bed PlanetLab, creado con fines de investigación. Desafortunadamente, los test bed de enseñanza no existen, debido, en parte, a la escala necesaria para sistemas altamente distribuidos, así como su compleja y costosa administración, haciendo inviable esta solución. Finalmente, se pueden utilizar técnicas de modelado y simulación, la cuales permiten solventar, de manera viable, aquellos aspectos de interés que se tratan con dificultad en la ejecución “stand-alone”, en particular, la visualización del funcionamiento distribuido y su rendimiento. Aunque la simulación no es una solución ideal, ya que consiste en la manipulación de un modelo del sistema cuya utilidad depende de la completitud, precisión y grado de abstracción de este modelo, puede resultar una solución muy interesante y viable que alivie las dificultades anteriormente mencionadas.

El objetivo de este proyecto consiste en mitigar los problemas existentes para ejecutar aplicaciones distribuidas en las prácticas de la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos. Para ello proponemos el uso del simulador SIMCAN, el cual ha sido validado contra arquitecturas reales. Concretamente, se propone adaptar este simulador, desarrollado en el contexto de la investigación, para fines docentes. Seguidamente, se utilizará la versión adaptada de SIMCAN en las prácticas de la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos, del grado de Ingeniería de Computadores de la FDI/UCM.

Seguidamente se exponen los objetivos específicos y las propuestas de valor asociados a los mismos:

**O1: Mejorar la calidad didáctica y aumentar la comprensión de los aspectos impartidos en la materia de sistemas distribuidos.** Esto se conseguirá gracias a la posibilidad de estudiar, utilizando SIMCAN, un amplio rango de arquitecturas distribuidas en las prácticas de la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos,

lo cual facilitará que el alumno analice y compare las características de varios sistemas.

**O2: Aumentar la motivación de los alumnos mediante la realización de experimentos con modelos que representan arquitecturas reales y actuales.**

Además, se brindará a los alumnos la posibilidad de desarrollar, tanto modelos basados en arquitecturas reales que no se hayan visto en clase, como modelos de arquitecturas inexistentes propuestas por ellos.

**O3: Alentar el trabajo autónomo de los alumnos, así como la efectividad de la enseñanza semi-presencial, e incluso la virtual, de sistemas distribuidos.**

Esto viene en gran parte motivado para facilitar el desarrollo de las prácticas a los alumnos que compaginan sus estudios con la vida laboral, evitando, en la medida de lo posible, abandonos de la asignatura.

## **2.- Objetivos alcanzados**

El presente proyecto de Innovación Docente se ha desarrollado con el fin de alcanzar un objetivo global, el cual consiste en mitigar las dificultades existentes para realizar prácticas en la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos. Para realizar las prácticas en los laboratorios de la facultad es necesario contar con una configuración específica que permita a varios procesos, ejecutados en distintos ordenadores, comunicarse mediante el intercambio de datos a través de la red de comunicaciones. Esta configuración, generalmente, debe también contemplar ciertos grados de seguridad que impidan ataques externos a los ordenadores del laboratorio, lo cual entra en conflicto con la ejecución de las prácticas. Además, no resulta sencillo disponer con un número elevado de ordenadores configurados adecuadamente para que los alumnos puedan realizar, de forma cómoda y flexible, las prácticas correspondientes. En este caso, el presente proyecto ha cumplido satisfactoriamente este objetivo, ya que las prácticas se han realizado en la plataforma de simulación SIMCAN, la cual ha sido adaptada para que los alumnos pudieran realizar de forma cómoda y flexible las prácticas de la asignatura, sin depender de la configuración establecida en los ordenadores del laboratorio.

Adicionalmente, en el presente proyecto de Innovación Docente se detallaron varios objetivos específicos.

### **O1: Mejorar la calidad didáctica y aumentar la comprensión de los aspectos impartidos en la materia de sistemas distribuidos.**

Para poder concluir si este objetivo se ha cumplido de forma satisfactoria, se realizaron varias encuestas anónimas durante el transcurso de la asignatura, tanto antes como después de haber realizado las prácticas. En estas encuestas, se puede ver reflejado que los alumnos han valorado de forma positiva la utilidad de la plataforma SIMCAN para realizar las prácticas de la asignatura.

### **O2: Aumentar la motivación de los alumnos mediante la realización de experimentos con modelos que representan arquitecturas reales y actuales.**

Las prácticas de la asignatura fueron diseñadas de forma que una parte fuera obligatoria y otra opcional. Con el fin de poder evaluar el grado en el que se cumple este objetivo, se dejó libertad a los alumnos para que fueran ellos mismos quienes decidieran la extensión de las partes opcionales, pudiendo diseñar nuevas configuraciones para las arquitecturas propuestas e incluso nuevas arquitecturas.

Es importante destacar que un número considerable de alumnos desarrolló las partes opcionales de la práctica, mostrando un alto nivel de interés y motivación tanto en las clases de laboratorio como en las tutorías. Por ello, podemos concluir con que este objetivo se ha cumplido de forma satisfactoria.

### **O3: Alentar el trabajo autónomo de los alumnos, así como la efectividad de la enseñanza semi-presencial, e incluso la virtual, de sistemas distribuidos.**

Con el fin de poder cumplir este objetivo, se ha generado una máquina virtual que contiene todo el software necesario para poder realizar las prácticas empleando la plataforma de simulación SIMCAN. Esta máquina virtual, generada con un software

gratuito que además está disponible para los principales sistemas operativos, tales como Windows, Linux y Mac OS, se puso a disposición de los alumnos a través de un servidor. De esta forma, los alumnos podían ejecutar esta máquina virtual, no sólo en los ordenadores del laboratorio sino en sus ordenadores personales.

Los alumnos han valorado esta iniciativa de forma muy positiva, ya que algunos de ellos realizaron las prácticas fuera del horario establecido de laboratorio. Es importante remarcar que, cuando los alumnos solicitaron tutorías, llevaban sus portátiles para poder preguntar dudas sobre el entorno de la práctica en cuestión, lo cual agiliza en gran medida el proceso de resolución de dudas, tanto para el profesor como para los alumnos.

Adicionalmente, los alumnos expresaron de forma general que sería muy positivo para la asignatura contar con un interfaz que permitiera configurar los entornos distribuidos de las prácticas en tabletas, ya que prácticamente la totalidad de los alumnos utilizan estos dispositivos y creen que ayudaría, aún más, a fomentar el trabajo autónomo y la efectividad de la enseñanza. Esta propuesta se evaluará para estudiar si es viable implementarla en futuros proyectos de Innovación Docente.

### **3.- Metodología empleada en el proyecto**

Para el desarrollo de este proyecto se han identificado 8 tareas que cubren los objetivos detallados en los apartados anteriores. Estas tareas se enumeran a continuación:

- 1) Adaptar la versión actual de SIMCAN para el desarrollo de las prácticas de PSD.
- 2) Definir los sistemas distribuidos, que serán utilizados en las prácticas, para que los alumnos puedan modelarlos y simularlos con SIMCAN.
- 3) Definir las aplicaciones distribuidas que serán ejecutadas y analizadas en los sistemas modelados de la tarea anterior.
- 4) Realizar un manual de usuario enfocado al uso académico.
- 5) Diseñar, planificar y poner en práctica los detalles de los procedimientos de evaluación.
- 6) Generar una máquina virtual con SIMCAN instalado.
- 7) Desplegar una Web que proporcione los recursos desarrollados en este proyecto.
- 8) Utilizar SIMCAN para el desarrollo de prácticas.

Una vez identificadas las tareas, el responsable del proyecto se ha encargado de asignar, a cada miembro del mismo, las tareas en las que debe participar. La planificación temporal, así como la asignación de tareas, puede consultarse en detalle en el apartado 5.- *Desarrollo de las actividades*.

Además, el responsable de proyecto se ha encargado de sincronizar la ejecución de cada una de las tareas con los miembros del proyecto. Debido al gran nivel de dependencia que existe entre la mayor parte de las tareas, ha sido necesario un esfuerzo adicional en este aspecto para conseguir cumplir los objetivos propuestos en los plazos establecidos.

Finalmente, el responsable del proyecto se ha encargado de recopilar la información necesaria de cada tarea para poder generar el informe final.

#### **4.- Recursos humanos**

El grupo de trabajo de este proyecto está formado, mayoritariamente, por personal de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), aunque también existen miembros del mismo pertenecientes a la Universidad Castilla-La Mancha (UCLM) y a la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Además, Pablo Olivera, alumno que aprobó la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos el curso pasado, forma parte del grupo de trabajo. Con ello se pretende aportar una visión adicional, desde el punto de vista de los estudiantes, para poder realizar con mayor precisión los métodos propuestos.

De los miembros PDI que forman este proyecto, 4 profesores han impartido asignaturas relacionadas con sistemas distribuidos. Concretamente, de la UCM, los profesores Simon Pickin y Alberto Núñez han impartido la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos durante los últimos 4 años académicos, la cual fue puesta en marcha en el curso académico 2012/2013 por el profesor Alberto Núñez. Además, la profesora M. Emilia Cambroneró ha impartido, durante los últimos 6 años, la asignatura Sistemas Distribuidos del grado en Ingeniería Informática de la UCLM, mientras que el profesor Miguel Romero ha impartido la asignatura Sistemas Distribuidos en la UNED durante 4 años.

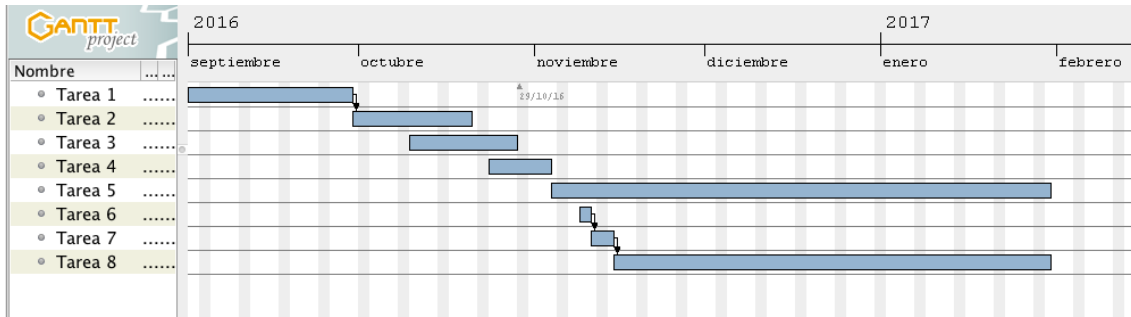
Los profesores Luis Llana, Víctor Lavín y Miguel Valero cuentan con amplia experiencia en asignaturas de programación, lo cual entra dentro del ámbito de la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos.

Los otros profesores de la UNED, Carolina Mañoso y Ángel Pérez tienen experiencia en técnicas de evaluación del impacto de las tecnologías en la educación.

Por otro lado, el grupo de trabajo también cuenta con personal PAS de la UCM. Concretamente, Ana Bartolomé, que actualmente trabaja como Técnico de Laboratorio en la facultad de Informática, de forma que las tareas 6 y 7 podrán ser apoyadas por personal con amplia experiencia en este campo.

## 5.- Desarrollo de las actividades

En esta sección se detalla cada una de las tareas realizadas en este proyecto. El siguiente diagrama de Gantt proporciona de forma gráfica los tiempos de ejecución de cada tarea, así como las fechas de inicio y finalización de las mismas.



De esta forma, los plazos de ejecución de cada tarea se detallan en los siguientes intervalos temporales:

- Tarea 1: 1/09/2016 a 29/09/16
- Tarea 2: 30/09/16 a 20/10/16
- Tarea 3: 10/10/16 a 28/10/16
- Tarea 4: 24/10/16 a 3/11/16
- Tarea 5: 4/11/16 a 30/01/17
- Tarea 6: 9/11/16 a 10/11/16
- Tarea 7: 11/11/16 a 14/11/16
- Tarea 8: 15/11/16 a 30/01/17

La asignación de las tareas a realizar por cada miembro del proyecto se detalla en el siguiente cuadro, donde 'X' representa la participación del miembro correspondiente en la tarea y 'C' indica que dicho miembro es el coordinador de la tarea.

Miembro\Tarea	1	2	3	4	5	6	7	8
Alberto Núñez	C	C	C	X	X			C
Simon Pickin	X	X		C	X			X
Víctor Lavín	X		X				X	
Luis Llana		X	X		C	X		
Miguel Valero				X		X	X	
Ana Bartolomé						C	C	
Emilia Cambroner	X	X			X			X
Carolina Mañoso					X			
Ángel Pérez					X			
Miguel Romero		X	X		X			X
Pablo Olivera		X	X	X	X			

Seguidamente, se presenta una descripción detallada de cada una de las tareas realizadas en este proyecto.

- **Tarea 1:** Esta tarea consiste en adaptar el simulador SIMCAN para que éste pueda utilizarse de forma didáctica en la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos. Actualmente, SIMCAN proporciona una interfaz gráfica que facilita la tarea de simular sistemas distribuidos. Sin embargo, este simulador está enfocado a la investigación, donde prima obtener los resultados de los

experimentos de la forma más eficiente posible sin mostrar los pasos intermedios. En consecuencia, muchos de los detalles didácticos que deberían mostrarse para facilitar el aprendizaje, permanecen ocultos. Así, se ha adaptado la versión actual de SIMCAN para que muestre aquellos detalles que sean relevantes para mejorar el aprendizaje, lo cual ha resultado de vital importancia para lograr los objetivos de este proyecto.

- **Tarea 2:** En esta tarea se han desarrollado los sistemas que han sido modelados en las prácticas de la asignatura. Por ejemplo, un sistema con la arquitectura cliente-servidor para mostrar el funcionamiento de los servicios Web o un clúster de alto rendimiento donde se evalúan las aplicaciones MPI ejecutadas en paralelo. Además, para que cada alumno pueda evaluar su modelo propuesto, se ha realizado previamente un análisis de las características más relevantes de cada sistema. Por ejemplo, en el sistema cliente-servidor se puede analizar el número de peticiones tratadas por unidad de tiempo, mientras que en un clúster se evaluaría el nivel de paralelismo obtenido al utilizar los recursos compartidos del sistema.
- **Tarea 3:** En esta tarea se han definido las aplicaciones que serán ejecutadas en los sistemas modelados.
- **Tarea 4:** En esta tarea se ha desarrollado un manual de usuario que contiene las nociones básicas de uso del simulador SIMCAN. Este manual se ha puesto a disposición de los alumnos a través del Campus Virtual en formato pdf.
- **Tarea 5:** Con el fin de poder evaluar el impacto obtenido durante el desarrollo de este proyecto, en esta tarea se han definido los indicadores descritos en la quinta sección de la propuesta de este proyecto. Es importante mencionar que la heterogeneidad de los miembros asignados a esta tarea enriquece y complementa, considerablemente, los conocimientos del grupo de trabajo necesarios para cumplir los objetivos deseados. De esta forma, no sólo se cuenta con experiencia en la materia de la asignatura de sistemas distribuidos, sino que además se suma tanto la experiencia en la evaluación del impacto de tecnologías en la educación, como el apoyo de un alumno que ya ha aprobado la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos, el cual puede aportar valiosas recomendaciones para llevar a cabo esta propuesta con mayor precisión.
- **Tarea 6:** Esta tarea consiste en la creación de una máquina virtual que contenga el sistema operativo, el simulador SIMCAN adaptado en la tarea 1, las librerías y los entornos necesarios para poder utilizarlo.
- **Tarea 7:** En esta tarea se ha desplegado un servidor donde los usuarios podrán acceder a los distintos recursos utilizados, tales como la máquina virtual creada en la tarea 6 y el manual de usuario desarrollado en la tarea 4.
- **Tarea 8:** En esta tarea se utilizaron los recursos desarrollados en las tareas anteriores para realizar las prácticas de la asignatura Programación de Sistemas Distribuidos.