

JITEL 2021
LIBRO DE ACTAS
XV Jornadas de Ingeniería Telemática
A CORUÑA 2021



ISBN: 978-84-09-35131-2

Editores:

Victor Manuel Carneiro Díaz
Laura Victoria Vigoya Morales

El contenido de las ponencias que componen estas actas es propiedad de los autores de las mismas y está protegido por los derechos que se recogen en la Ley de Propiedad Intelectual. Los autores autorizan la edición de estas actas y su distribución a los asistentes de las XV Jornadas de Ingeniería Telemática, organizadas por la Universidad de A Coruña, sin que esto, en ningún caso, implique una cesión a favor de la Universidad de A Coruña de cualesquiera derechos de propiedad intelectual sobre los contenidos de las ponencias. Ni la Universidad de A Coruña, ni los editores, serán responsables de aquellos actos que vulneren los derechos de propiedad intelectual sobre estas ponencias.

© 2021, los autores.



XV Jornadas de Ingeniería Telemática – JITEL 2021
Creative Commons 4.0 International License ([CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/))



Teoría de colas y simulación por eventos: una actividad basada en aprendizaje por proyectos

Ramón Agüero, Luis Diez

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria.
{ramon, ldiez}@tlmat.unican.es

Se describe una actividad de Aprendizaje Basado en Proyectos, que se enmarca en la asignatura de “Diseño y Operación de Redes Telemáticas”, en el primer curso del Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación. Los estudiantes tienen que desarrollar un simulador por eventos, y utilizarlo posteriormente para analizar el rendimiento de diferentes sistemas, cuyo comportamiento se puede estudiar en base a modelos teóricos. La actividad permite a los estudiantes adquirir un mayor conocimiento acerca de las técnicas de simulación por eventos y de teoría de colas, fundamentales en el ámbito de la ingeniería telemática. En el artículo se describen los objetivos formativos de la actividad, así como el diseño de la práctica correspondiente. La experiencia hasta el curso 2020/2021 ha sido buena, lo que se refuerza por las opiniones de los estudiantes, que valoran de manera positiva la actividad docente.

Palabras Clave—aprendizaje basado en proyectos (ABP), simulador por eventos, modelado, programación

I. INTRODUCCIÓN

La simulación basada en eventos es una herramienta cada vez más usada en varios campos de la ingeniería. Por ejemplo, en el área de las redes, existen varias plataformas y herramientas ampliamente utilizadas por la comunidad para evaluar el rendimiento de protocolos, algoritmos, etc. En el ámbito docente, estas herramientas (por ejemplo ns-3¹, o OMNET++²) se usan con frecuencia para plantear prácticas de laboratorio, tanto en programas de grado como de máster.

Sin embargo, el uso de estas herramientas no permite habitualmente entender los detalles de la simulación por eventos, que se ocultan tras la complejidad de las implementaciones empleadas. En este artículo se describe una práctica de laboratorio planteada como actividad de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), en la que los estudiantes deben diseñar y desarrollar el núcleo de un

simulador por eventos, a fin de que puedan entender en profundidad el funcionamiento de esta metodología. El fin último es colocarse en una posición en la que se pueda entender mejor la operación y funcionamiento de herramientas más complejas, y cómo utilizarlas de manera adecuada para el análisis de sistemas.

Una vez implementado, el simulador se utilizará para analizar el funcionamiento de varios sistemas que pueden a su vez modelarse con cadenas de *Markov*, y cuyo rendimiento se puede por tanto estudiar mediante teoría de colas. De este modo, la actividad propuesta permite consolidar el conocimiento que se haya adquirido en el campo de dicha teoría. Además, la práctica está diseñada para incluir una serie de competencias transversales, tales como el trabajo colaborativo y la escritura de informes técnicos en lengua inglesa. La actividad se lleva a cabo en la asignatura *Diseño y Operación de Redes Telemáticas*, que se imparte en el primer curso del *Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicaciones* de la Universidad de Cantabria. Como se pondrá de manifiesto a continuación, la experiencia hasta ahora es positiva, ya que se consiguen cubrir los objetivos formativos, y los estudiantes tienen opiniones relativamente buenas acerca de la actividad docente.

El resto del artículo tiene la siguiente estructura. En la Sección II se mencionan algunas de las experiencias de ABP en áreas relacionadas con las redes, y se enumeran los aspectos innovadores de la actividad, cuyos objetivos de aprendizaje se identifican en la Sección III. La Sección IV describe el diseño de la práctica y detalla las modificaciones que se han ido introduciendo desde que se inició. Seguidamente, en la Sección V se comentan los resultados de las encuestas que se han llevado a cabo en los últimos tres años, las cuales muestran que, a pesar de su complejidad, los estudiantes tienen una opinión relativamente buena acerca de la práctica. Finalmente, en la Sección VI se comentan las conclusiones más relevantes que se han obtenido y se enumeran posibles modifica-

¹<https://www.nsnam.org/>

²<https://omnetpp.org/>

ciones que se puedan implementar en el futuro.

II. ABP EN CURSOS DE INGENIERÍA

A lo largo de los años, la eficacia del Aprendizaje Basado en Proyectos se ha probado en varios campos [1] y especialmente en ingeniería. Una de las áreas con mayor implantación es *computer science*, tal como se describe [2] donde se resumen diversas experiencias de ABP en el área. Por ejemplo, en [3] McManus y Costello analizan la efectividad de una iniciativa similar, basada en ABP en *computer science*, tanto desde el lado de los instructores como del alumnado. Un ejemplo más concreto es el descrito por Fernandez y Williamson in [4], donde se discute cómo la metodología de ABP se usa en una asignatura de programación orientada a objetos. De forma similar, en [5] se identifican las ventajas del ABP como herramienta de aprendizaje para la implementación de servicios distribuidos.

Sin embargo, no se han encontrado trabajos previos de experiencias de ABP que cubran los elementos que se contemplan en la actividad descrita en este artículo. Como se discutirá en la Sección IV, la práctica abarca un gran número de objetivos de aprendizaje, que incluyen competencias transversales. En este sentido, mientras que la mayoría de los trabajos encontrados en la literatura se centran en el desarrollo *software*, existen muy pocos que apliquen el ABP para consolidar el aprendizaje de modelado de sistemas de comunicaciones (teoría de colas, teletráfico, etc.). Por ejemplo, Garcia y Hernandez describen en [6] los resultados obtenidos de una actividad de ABP en una asignatura de teoría de colas. Sin embargo, el estudio se centra en consejos para animar al alumnado a tomar un papel más activo a la hora de resolver ejercicios propuestos. Por el contrario, en la actividad que se describe en este artículo el enfoque es diferente, ya que el alumnado precisa asimilar el comportamiento de los sistemas para implementarlos en el simulador, de forma que posteriormente puedan comparar el comportamiento de la implementación con el análisis teórico. Este enfoque permite asimilar y profundizar los modelos teóricos subyacentes.

III. CONTEXTO Y OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD DE ABP

A. Contexto

Esta actividad se realiza en el primer curso del *Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación*, en la asignatura llamada *Diseño y Operación de Redes Telemáticas*. En esta asignatura se tratan conceptos relacionados con el modelado analítico de varias técnicas aplicadas en redes, incluyendo algoritmos de selección de acceso, esquemas de *scheduling* y protocolos de transporte.

La asignatura se ha impartido durante 7 años, y el número medio de estudiantes es de 18. Merece la pena resaltar que todos los estudiantes de esta asignatura provienen del *Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación*. Este programa tiene una duración de

4 años, y se establecen 3 menciones, por lo que no todo el alumnado parte con los mismos conocimientos y competencias. En concreto, una de estas menciones es la de telemática, en la que se cubren aspectos relacionados con el modelado de redes, mientras que los alumnos provenientes de las otras opciones poseen un menor conocimiento en este área. A pesar de ello, todo el alumnado ha cursado una asignatura de introducción a la teoría de colas en el segundo curso del grado.

B. Objetivos de aprendizaje

El primer objetivo de la actividad está relacionado con la programación. En concreto los estudiantes han de implementar el simulador por eventos usando el lenguaje de programación C, ya que es el lenguaje que, de manera común, todos han utilizado durante el grado. Sin embargo, la adaptación de la actividad a otros lenguajes no supondría cambios en su diseño y algunos de los lenguajes alternativos simplificarían la implementación del simulador, al contar con librerías especializadas. En cualquier caso, la competencia en la programación de *software* es un aspecto clave en la ingeniería de telecomunicación y con esta actividad los estudiantes la refuerzan de manera notable.

El aspecto principal de la actividad es la metodología de análisis basada en la simulación por eventos, que es una de las piezas clave de muchas herramientas de simulación usadas en redes, así como en otros campos de la ingeniería. Dado que los estudiantes han de implementar completamente el simulador, deben abordar muchos aspectos, que al utilizar entornos de simulación existentes se dan por supuestos: (1) generación de variables aleatorias; (2) gestión dinámica de memoria; (3) generación de resultados. Con todos estos elementos, los alumnos deben realizar un análisis tipo *Montecarlo*, entendiendo los conceptos de precisión estadística, nivel de confianza. Con todo ello, la actividad abarca un número relativamente alto de conceptos fundamentales en la ingeniería.

Por otro lado, merece la pena destacar que la actividad que se describe no aborda únicamente elementos técnicos, sino que también involucra competencias transversales. En primer lugar, la práctica se realiza en grupos de 3/4 estudiantes, por lo que el trabajo colaborativo es relevante. Además, uno de las características más distintivas del ABP es el auto-aprendizaje, ya que es muy frecuente que los estudiantes no finalicen la práctica durante las sesiones planificadas en el laboratorio. En este sentido, el uso de vídeos complementarios ha resultado ser un mecanismo eficiente para fomentar el auto-aprendizaje, como se ha mostrado en otras asignaturas [7]. Finalmente, al finalizar la práctica, los estudiantes tienen que escribir un informe técnico en el que discuten los resultados obtenidos y la estructura del simulador, lo que refuerza esta competencia, así como la lingüística, ya que el informe debe ser escrito en inglés. Por otro lado, se ha incluido recientemente el requisito de escribir el informe en \LaTeX , que, aunque es popular en el ámbito de la investigación, resulta desconocido para muchos estudiantes. El uso de este sistema de

edición de textos también refuerza el auto-aprendizaje, ya que se dispone de gran cantidad de información para resolver dudas.

A modo de resumen, a continuación se enumeran los objetivos formativos cubiertos por la práctica:

- Profundizar en la programación en C, que ha sido el lenguaje vehicular en el Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación.
- Metodología de análisis basada en la simulación por eventos, utilizada en numerosas plataformas y herramientas de simulación en el ámbito de la ingeniería de telecomunicación.
- Modelado de sistemas de telecomunicación vistos anteriormente en la titulación de grado
- Redacción de documentos científicos mediante LaTeX, incluyendo elementos matemáticos.

Asimismo, durante la realización de la práctica se potencia un número importante de competencias transversales, que que se indican a continuación

- Trabajo colaborativo al realizarse en grupos de tres personas.
- Competencia lingüística, dado que la memoria se tendrá que escribir en inglés y en algunos casos será necesario además acudir a fuentes bibliográficas en inglés.
- Autoaprendizaje, ya que la actividad docente está planteada para que se pueda desarrollar de manera completa en modalidad no-presencial aunque se contemplan sesiones de tutoría.
- Redacción de informes científicos, al evaluarse a partir de un informe generado por los grupos informe.

IV. DISEÑO DE LA ACTIVIDAD DE ABP

La práctica empieza con un seminario, donde el profesorado presenta las técnicas de programación necesarias para implementar el simulador por eventos, y que son desconocidas para una parte del alumnado: (1) gestión dinámica de memoria; (2) listas enlazadas. A partir de estos conceptos se presenta la estructura básica del simulador, incluyendo aspectos clave como son: significado de un evento, u ordenación temporal. A modo de resumen, se plantea la utilización de un bucle infinito, de forma que en cada iteración se gestiona el primer elemento de una lista de eventos, que se encuentra siempre ordenada en función del tiempo de ocurrencia en orden ascendente. Cada uno de los eventos puede dar lugar a nuevos eventos, que se introducen ordenadamente en la lista, y el procesado continua hasta que se cumple algún criterio de parada, tal como tiempo de simulación o número de eventos procesados.

A. Tarea inicial: M/M/1

La primera tarea de la práctica consiste en usar el simulador para estudiar el rendimiento de un sistema M/M/1, lo que permite validar el funcionamiento del propio simulador. Todos los estudiantes han estudiado previamente este sistema, ya que forma parte de la asignatura comunes del segundo curso del grado [8], por lo que deberían

ser capaces de caracterizar su comportamiento de forma teórica.

En este sistema existen dos tipos de eventos que se han de considerar: (1) *llegada* de un nuevo paquete o petición; (2) *salida* de un paquete o petición del sistema. Al procesar un evento de *llegada*, lo primero que se debe implementar es el siguiente evento de *llegada*, usando una instancia de una variable aleatoria. Posteriormente, se debe comprobar si hay recursos libres para procesar la petición. En caso de que así sea, se debe ocupar el recurso e iniciar el procesado, por lo que se debe generar un evento (nuevamente con un instancia de una variable aleatoria) de salida del sistema en el instante en el que termina el procesado. Por otro lado, si el recurso está ocupado, la petición se guardará en una cola, a la espera de que pueda ser procesada.

Por otro lado, ante un evento de *salida*, el sistema debe comprobar si hay elementos esperando en la cola. En ese caso, se inicia un nuevo procesado, creando el evento de *salida*, mediante la realización de la variable aleatoria correspondiente.

Asimismo, los estudiantes también necesitan almacenar información durante la simulación para caracterizar el sistema, de modo que se pueda comprobar el funcionamiento simulado con el rendimiento teórico esperado. A partir de la información almacenada pueden hacer uso de cualquier herramienta matemática (Matlab, R, Octave) para procesar la información, y representar de manera gráfica el rendimiento del sistema.

B. Sistema complejo

Una vez que los alumnos han validado el correcto funcionamiento del simulador mediante el análisis del sistema M/M/1, se les pide estudiar el comportamiento de otro sistema, que es diferente para cada grupo. En los últimos años este sistema se ha tomado de problemas de cursos anteriores, lo cual tiene varios beneficios. En primer lugar, los alumnos refuerzan su conocimiento sobre el modelado de sistemas y teoría de colas, siendo este uno de los principales objetivos de la actividad. Por otro lado, para todos los sistemas propuestos [9] se cuenta con las soluciones numéricas de los mismos, de modo que los diferentes grupos pueden comprobar la validez de los resultados obtenidos mediante el simulador. En algunos casos también hay disponibles vídeos que describen de forma detallada el modelo a implementar, lo cual ha sido muy bien valorado por parte de los estudiantes [7].

Como ejemplo ilustrativo se va a presentar uno de los sistemas que ha sido asignado en el último curso y que se corresponde con el Problema 52 de [9], cuya cadena de Markov se muestra en la Figura 1. Se trata de un sistema de cómputo que recibe peticiones de dos tipos: α y β . El primer tipo de peticiones pueden ser procesadas de forma individual, mientras que las pertenecientes al segundo tipo tienen que procesarse junto con una de tipo α . Por lo tanto, si llega una petición de tipo β cuando el sistema está vacío (no hay ninguna petición siendo procesada), esta esperará hasta la llegada de una de tipo

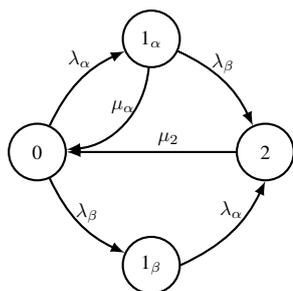


Fig. 1: Cadena de Markov del ejemplo de sistema complejo

α y ambas se procesarán juntas. Por otro lado, si una petición de tipo β llegara cuando se está procesando una de tipo α , el procesado se detendrá y ambas serán procesadas conjuntamente. Cuando el sistema se encuentra procesando dos peticiones conjuntas (una de cada tipo), las peticiones que lleguen no se podrán almacenar. Además, si llegara una petición de tipo α cuando otra del mismo tipo se está procesando, la nueva se descartará. En todos los casos los tiempos de procesado tienen una distribución exponencial con diferente valor medio para el procesado individual, μ_α^{-1} , y conjunto, μ_2^{-1} .

En este sistema, los estudiantes pueden analizar la probabilidad de pérdida de cada uno de los tipos de petición, así como el tiempo medio de permanencia en el sistema, diferenciado por tipo. También se podría analizar el porcentaje de peticiones de tipo α cuyo procesado se reinicia ante la llegada de una de tipo β . Como se puede observar, hay varios aspectos que pueden ser analizados con el simulador y a partir del modelo del sistema, indicado en la Figura 1, y muchos de ellos pueden ser validados con los resultados teóricos. Si los estudiantes quieren profundizar más en el modelado del sistema, tienen disponible un vídeo explicativo [10]. Cabe destacar que los enunciados de los sistemas complejos establecen un análisis mínimo que cada grupo tiene que realizar, pero se deja a su elección extender el estudio del sistema con el simulador.

C. Seguimiento de la práctica

Como se ha comentado anteriormente, para completar la práctica cada grupo tiene que redactar un informe técnico. La estructura se deja a elección de cada grupo, aunque en el guion se les indica un conjunto de resultados mínimos que deben obtener para los dos sistemas (M/M/1 y complejo), y que deberán comparar con los teóricos. Por otro lado, el informe se tiene que escribir en inglés. Aunque este aspecto podría no ser relevante, el máster en el que está enmarcada la asignatura se imparte completamente en castellano, con pocas tareas en inglés más allá de la búsqueda bibliográfica. Además, se ha incluido el uso de \LaTeX como requisito, de modo que los estudiantes que no lo han utilizado antes deben familiarizarse con un entorno de procesado de textos diferente. A fin de simplificar la edición del informe, el profesorado proporciona una plantilla y un proyecto en *Overleaf* a cada uno de los grupos. Como se comentará en la Sección V, estos cambios han

2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018
Inicio		Sistema	Sistemas de
Actividad		M/M/ ∞	cursos
			anteriores
2018/2019	2019/2020	2020/2021	
4 sesiones	Sistema	Inglés	
laboratorio	M/M/1	\LaTeX	
		on-line	

Fig. 2: Modificaciones de la práctica de laboratorio desde su inicio

sido bien recibidos por el alumnado.

Uno de los aspectos clave de la práctica es el seguimiento continuo que se debe llevar a cabo. Debido a la complejidad del conjunto de tareas que tienen que afrontar, algunos grupos necesitan varias sesiones de tutoría, tras completar las sesiones de laboratorio programadas, en las que se resuelven dudas o se solucionan problemas concretos relacionados con la programación. Esto supone una carga de trabajo adicional para el profesorado, lo que precisa una correcta planificación, pero que en base a las experiencias previas es difícil de evitar sin modificar el enfoque de la práctica.

D. Evolución del diseño de la práctica

Desde que se inició la tarea se han ido realizando modificaciones en su diseño, basadas en la experiencia y la percepción y opinión del alumnado. A modo de resumen la Figura 2 muestra los cambios que se han ido introduciendo durante los 7 años en los que se ha llevado a cabo la actividad docente. Durante los primeros 2 años no se pedía evaluar un sistema inicial sencillo, sino que el simulador se utilizaba para analizar técnicas acceso a un medio compartido (CSMA, CSMA/CD, etc). En la tercera edición, antes de abordar un sistema de mayor complejidad, se pidió analizar un sistema M/M/ ∞ , para que los grupos se familiarizaran con la generación de variables aleatorias exponenciales que necesitarían posteriormente. Sin embargo, el análisis del rendimiento de este sistema, que asume recursos infinitos, no permite muchas opciones, y el procesado de los eventos resulta muy sencillo. Esto daba lugar a un salto de complejidad notable con el sistema avanzado.

En el cuarto año se plantearon como sistemas avanzados ejercicios de cursos anteriores, lo que ha permitido poder profundizar en los aspectos de modelado. En este sentido, se había comprobado que los cambios introducidos hasta el cuarto año aumentaron la complejidad de la práctica, por lo que se decidió añadir una sesión adicional de laboratorio para compensar este aspecto, al menos parcialmente. Por otro lado, tras observar las limitaciones del sistema M/M/ ∞ como implementación inicial, se decidió cambiarlo por un sistema M/M/1, que además de ser más completo en tipos y lógica de eventos, también era conocido por todos los estudiantes. Finalmente, en el último curso (primer semestre del año académico 2020/2021) se

Tabla I: Resultados académicos de la actividad docente desde que se puso en marcha

Año	# Estudiantes	# Grupos	Nota		
			min	avg	max
2014/2015	9	3	7	8.2	9.5
2015/2016	21	6	5.5	8.1	10
2016/2017	19	6	7.5	8.6	10
2017/2018	16	5	6	8.3	10
2018/2019	22	7	6.5	8.4	10
2019/2020	23	8	7	8.4	10
2020/2021	17	5	6.5	8.5	10

ha puesto más énfasis en el informe que debe ser entregado al finalizar la práctica, que tiene que estar escrito en lengua inglesa y utilizando \LaTeX . Además, debido a las restricciones impuestas por la situación de pandemia, se adaptaron las sesiones de laboratorio a modalidad on-line, lo que ha tenido una buena acogida tanto por parte del alumnado como de los profesores.

V. OPINIÓN DEL ALUMNADO

La actividad se ha llevado a cabo durante 7 ediciones de la misma asignatura, cuya información más relevante, en cuanto a calificaciones y alumnado, se resume en la Tabla I. Tras las 3 últimas ediciones se ha realizado una encuesta para recoger la opinión de los estudiantes sobre la práctica, a fin de conocer su punto de vista e identificar mejoras potenciales para adaptar el diseño o ejecución de la práctica. El número total de estudiantes durante los últimos 3 años ha sido 62 y casi el 90% ha completado la encuesta de manera anónima, y tras finalizar la actividad docente.

En la Tabla II se enumeran las cuestiones que se han incluido en la encuesta. Como se puede ver el conjunto de cuestiones se han dividido en 4 grupos diferentes. El primero busca conocer la opinión general del alumnado acerca de la práctica. El segundo grupo se centra en la metodología y la planificación de las sesiones de laboratorio. A continuación se ha preguntado acerca del informe técnico que deben realizar al completar la práctica. Finalmente, el último grupo de cuestiones trata de conocer la percepción de los estudiantes relativa al esfuerzo, relacionando las respuestas con su conocimiento previos en los aspectos que forman la base de la práctica: modelado de sistemas y programación. En todas las preguntas las respuestas se han numerado entre 1 (muy poco/completamente en desacuerdo) y 5 (mucho/completamente de acuerdo). A continuación se analizarán los resultados obtenidos por medio de las encuestas. Este análisis se llevará a cabo agregando todas las respuestas obtenidas a cada una de las cuestiones. En este sentido no se ha estudiado la evolución temporal de las respuestas a las preguntas, dado el limitado número de cursos (3 años) en los que se han realizado encuestas, este aspecto se abordará en el futuro.

La Figura 3 muestra la distribución de las respuestas relativas a la opinión general. Se puede observar que se tiene una opinión positiva, ya que los resultados a las preguntas Q1 y Q2 son muy altos, 4.25 y 4.26 respectivamente. También se puede ver que el porcentaje de respuestas

Tabla II: Cuestiones incluidas en la encuesta

#	Cuestión
<i>Opinión general</i>	
Q1	Los objetivos de la práctica están claros.
Q2	Considero que se han cumplido los objetivos formativos de la práctica.
Q3	Considero que el esfuerzo invertido en el desarrollo de la práctica está adecuadamente recompensado.
Q4	La práctica me ha gustado
<i>Planificación y metodología</i>	
Q5	Considero que el seminario de formación es suficiente para afrontar el desarrollo de la práctica.
Q6	Considero que las horas programadas de Prácticas en Laboratorio (4 sesiones) son adecuadas para encauzar el desarrollo de la práctica.
Q7	La carga de trabajo se ha repartido de manera ecuánime entre los/las integrantes del grupo.
Q8	El profesorado de la asignatura ha facilitado el desarrollo de la práctica, resolviendo las dudas que han ido surgiendo, y orientando el desarrollo adecuadamente.
<i>Informe técnico</i>	
Q9	Considero que la elaboración de la memoria final es adecuada en el planteamiento general de la práctica como complemento a la evaluación de la misma.
Q10	Considero que la redacción del informe técnico de la práctica en inglés ha supuesto un esfuerzo adicional respecto al uso del castellano.
Q11	Cuál es tu opinión respecto a la utilización de la plataforma <i>Overleaf</i> y de \LaTeX para la redacción del informe técnico de la práctica. [Como plataforma colaborativa para facilitar la redacción entre todos los miembros del grupo]
Q12	Cuál es tu opinión respecto a la utilización de la plataforma <i>Overleaf</i> y de \LaTeX para la redacción del informe técnico de la práctica. [Desde el punto de vista del uso de Latex para redactar el informe técnico]
<i>Conocimiento previo y esfuerzo</i>	
Q13	Mis conocimientos previos a la realización de la práctica han sido suficientes para afrontar su desarrollo. [Modelado, Teoría de Colas]
Q14	Mis conocimientos previos a la realización de la práctica han sido suficientes para afrontar su desarrollo. [Programación C]
Q15	El trabajo que he dedicado a la práctica fuera del horario de Prácticas de Laboratorio ha sido, en relación a dichas horas.

negativas (1 y 2) es muy bajo (2% y 0%), mientras que el de respuestas positivas (4 y 5) es casi el 90% en ambas. A continuación la cuestión Q3 busca conocer si se percibe que el esfuerzo está recompensado. El resultado medio a esta cuestión es 3.78%, siendo el 11% de las respuestas negativas, por un 60% positivas. Finalmente, la última cuestión del primer grupo, Q4, evidencia que la opinión general de la práctica es buena, con un resultado medio de 3.84. Como se puede ver en la Figura 3 solo el 13% de las respuestas han sido negativas, mientras en 73% son positivas.

Las respuestas del segundo grupo, centrado en la metodología, se muestran en la Figura 4. La primera cuestión, Q5, se refiere al seminario inicial sobre la

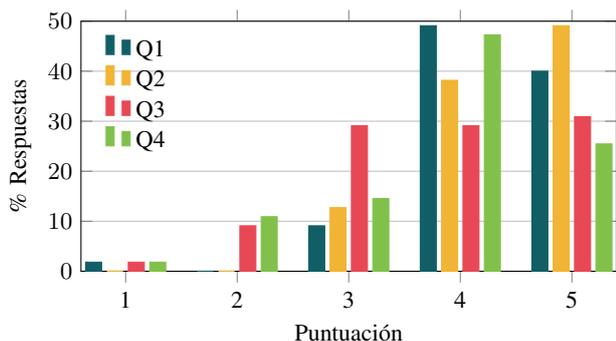


Fig. 3: Opinión general

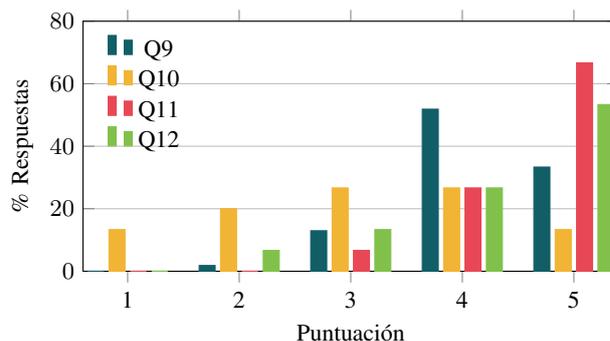


Fig. 5: Informe técnico

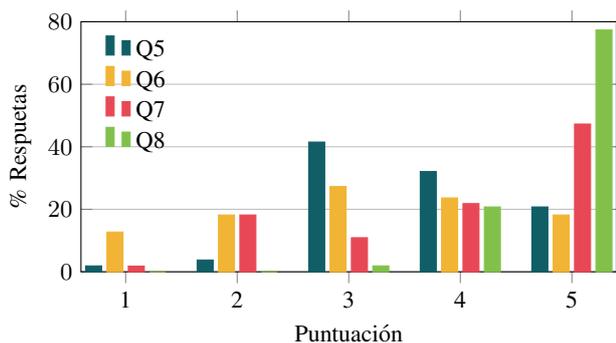


Fig. 4: Planificación y metodología

implementación del simulador. Como se puede ver, la percepción es positiva, con un resultado medio de 3.66 y siendo el número de respuestas negativas del 6%. Sin embargo, las respuestas positivas (4 y 5) solo llegan al 53%, lo que lleva a pensar (junto con comentarios en respuestas de texto libre no incluidas) que los estudiantes agradecerían un tratamiento más en profundidad de ciertos aspectos. Aunque la extensión del seminario (2 horas) no se puede extender por limitación de tiempo en la asignatura, se generará material adicional que complementa lo explicado en el seminario. A continuación, la cuestión Q6, que pregunta sobre el número de sesiones de laboratorio, obtiene una puntuación más baja (3.16) y muestra que casi un tercio de los estudiantes considera que no son suficientes.

Respecto al reparto de la tarea entre los integrantes de los grupos (Q7) la puntuación obtenida es relativamente alta (3.95), aunque el 20% de las respuestas son negativas. Para solventar esta situación, en el futuro se pedirá incluir en el informe la contribución de cada miembro del grupo, para resaltar la importancia del trabajo en equipo. La última pregunta de este grupo, Q8, es relativa al apoyo y seguimiento por parte del profesorado. Como se puede ver, los estudiantes tienen muy buena percepción, con un resultado medio de 4.75, sin que haya ninguna respuesta negativa de las más de 60. La respuestas a las cuestiones Q9-Q12 ha sido también positiva, como se puede ver en la Figura 5. En concreto, la escritura del informe se ve adecuada, aunque la imposición de hacerlo en lengua inglesa aumenta la complejidad. Por otro lado, el uso de \LaTeX y *Overleaf* ha tenido una buena acogida.

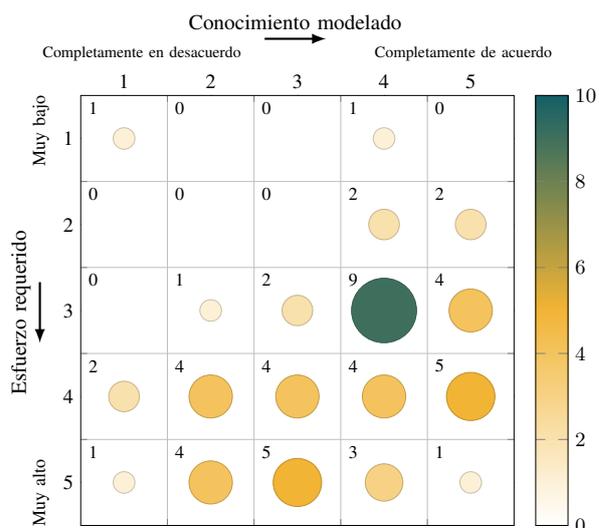


Fig. 6: Conocimiento de modelado Vs. esfuerzo

Para representar las respuestas relativas al último grupo de cuestiones se ha usado una representación diferente. En la Figura 6 se muestra la distribución de las respuestas asociando el esfuerzo percibido con el conocimiento previo referido a modelado de sistemas. En cada casilla se indica el número de respuestas, que recibieron las puntuaciones correspondientes de ambos aspectos, tanto con un círculo de diferente tamaño como de forma numérica. Como se puede apreciar, el mayor número de respuestas corresponde a la combinación: esfuerzo requerido 3; conocimiento de modelado 4. Por otro lado, los estudiantes perciben que han de realizar un gran esfuerzo para completar la práctica, con un resultado de 3.71 y un 60% de las respuestas indicando que el esfuerzo es alto o muy alto. Finalmente, no se aprecia una clara relación entre el esfuerzo requerido y el conocimiento previo de modelado de sistemas.

En la Figura 7 se usa la misma representación para analizar la relación entre esfuerzo requerido y conocimientos de programación. En este caso se puede ver la relación entre ambos aspectos, de modo que aquellas respuestas que indican una menor destreza en programación también perciben que necesitan realizar un mayor esfuerzo. Se puede observar que los estudiantes consideran que iniciaron la actividad con conocimientos medios o altos de

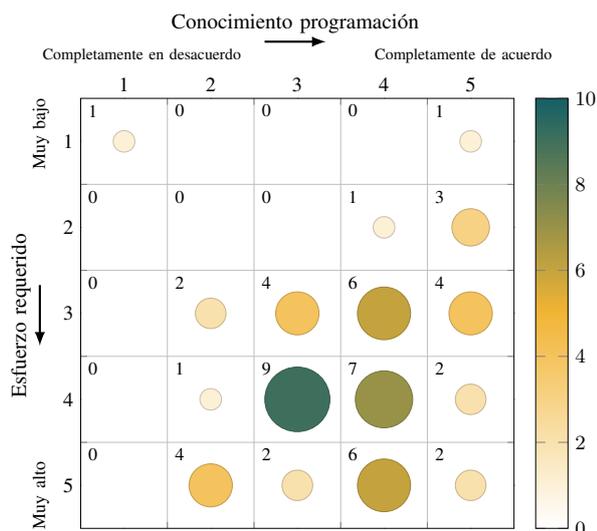


Fig. 7: Conocimiento de programación Vs. esfuerzo

programación (3.64) y que el 58% considera que sus conocimientos en este sentido eran adecuados al iniciar la práctica, mientras que el 15% creen que eran insuficientes. Junto con las respuestas relativas al seminario, estos resultados llevan a considerar la generación de material adicional relacionado con la programación del simulador, tales como un documento de ayuda o vídeos.

VI. CONCLUSIONES

Este artículo describe una actividad de ABPs que combina la implementación de un simulador por eventos con su utilización para el análisis de sistemas de comunicaciones, cuyo rendimiento se puede analizar mediante teoría de colas. La actividad se realiza como una práctica de laboratorio perteneciente a la asignatura *Diseño y Operación de Redes Telemáticas*, perteneciente al primer curso del Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación.

Los objetivos de la actividad descrita cubren tanto aspectos técnicos como transversales, tales como: trabajo colaborativo, escritura de informes técnicos y auto-aprendizaje. Se ha descrito el diseño de la actividad y se han enumerado los cambios que ha sufrido a lo largo de los 7 años en los que se ha llevado a cabo. Entre otros aspectos, los sistemas que se proponen para evaluar con el simulador han incrementado su complejidad, para permitir un análisis más completo. Además, la escritura del informe técnico ha ido ganando importancia de forma paulatina.

A partir de los resultados de encuestas realizadas a más de 60 estudiantes se ha visto que, a pesar de la dificultad de la actividad, la percepción es positiva. En este sentido, cabe destacar que casi la unanimidad de las respuestas indican que, tras completar la actividad, los estudiantes consideran que sus objetivos formativos se han cumplido. Por otro lado, el resultado de la encuesta ha permitido identificar extensiones y mejoras que se irán incorporando en próximos cursos.

La actividad puede ser fácilmente adaptada a otras asignaturas o áreas de la ingeniería. En base a la experi-

encia adquirida, los aspectos más importantes a considerar serían:

- Los estudiantes deben percibir que el esfuerzo se ve recompensado por medio de (1) las calificaciones y (2) la implicación del profesorado durante la actividad.
- Usar elementos vistos en cursos anteriores se percibe de manera muy positiva, y ayuda a consolidar conocimientos.
- El uso de recursos adicionales, tales como videos, ha sido muy bien recibido por los estudiantes y fomenta el auto-aprendizaje.

A fin de extender los objetivos de la actividad, se están estudiando diferentes extensiones: (1) uso de artículos científicos para plantear los sistemas a analizar; (2) incluir presentaciones orales para presentar los resultados de los análisis. La primera permitiría aplicar de forma directa el diseño de la actividad a otras asignaturas que abordaran otro tipo de sistemas, mientras que la segundo añadiría otro competencia transversal a la actividad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación de Gobierno de España (Ministerio de Economía y Competitividad, Fondo Europeo de Desarrollo Regional, MINECO-FEDER) por medio del proyecto *FIERCE: Future Internet Enabled Resilient smart CitiEs* (RTI2018-093475-AI00), y de la Universidad de Cantabria mediante el Programa de Innovación Educativa.

REFERENCIAS

- [1] G. E. Veselov, A. P. Pljonkin, and A. Y. Fedotova, "Project-based learning as an effective method in education," in *Proceedings of the 2019 International Conference on Modern Educational Technology*, ser. ICMET 2019. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019, p. 54–57.
- [2] S. C. dos Santos, P. B. S. Reis, J. F. S. Reis, and F. Tavares, "Two decades of pbl in teaching computing: A systematic mapping study," *IEEE Transactions on Education*, pp. 1–12, 2020.
- [3] J. W. McManus and P. J. Costello, "Project based learning in computer science: A student and research advisor's perspective," *J. Comput. Sci. Coll.*, vol. 34, no. 3, p. 38–46, Jan. 2019.
- [4] E. Hernandez and D. M. Williamson, "Using project-based learning to teach object oriented application development," in *Proceedings of the 4th Conference on Information Technology Curriculum*, ser. CITC4 '03. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2003, p. 37–40.
- [5] S. Machado, R. Meseguer, A. Oller, M. Reyes, D. Rincon, and J. Yufera, "On the impact of pbl-based teaching techniques in an optional course on distributed applications," in *International Conference on Engineering and Computer Education*, Nov 2005, pp. 1–6.
- [6] J. Garcia and A. Hernandez, "Active methodologies in a queueing systems course for telecommunication engineering studies," *IEEE Transactions on Education*, vol. 53, no. 3, pp. 405–412, 2010.
- [7] R. Agüero and L. Diez, "An on-line project based learning assignment: programming an event-driven simulator to analyze queueing-based systems," in *Proceedings of the SIGCOMM Education Workshop*. Association for Computing Machinery, 2020. [Online]. Available: http://gaia.cs.umass.edu/sigcomm_education_workshop_2020/papers/sigcommedu20-final19.pdf
- [8] R. Agüero. Tema 3. teletráfico. dimensionado de sistemas. redes de comunicaciones. [Online]. Available: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/301/course/section/239/tema_03.pdf
- [9] ——. Ejercicios tema 3. teletráfico. dimensionado de sistemas. redes de comunicaciones. [Online]. Available: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/301/course/section/240/ejercicios_tema3.pdf

- [10] ——. Problema 52 del tema 3 de redes de comunicaciones. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=5d7_oGJ-wbU