

Integración de analítica del aprendizaje en la evaluación y mejora de las prácticas de laboratorio de Ingeniería de Sistemas y Automática

Eva Besada Portas, Jesús Chacón Sombría, José Antonio López Orozco¹

Resumen: El uso de analíticas del aprendizaje y minería de datos educativa para procesar las acciones que los alumnos llevan a cabo al realizar una práctica virtual en el Campus Virtual (CV) permite al profesor tener un conocimiento profundo del modo en que se ha desarrollado la práctica. Con ello puede identificar problemas de diseño o si el proceso de aprendizaje de los alumnos es el adecuado. Este artículo muestra una herramienta que permite el registro de todas las acciones de los alumnos en la ejecución de una práctica virtual y extrae, a modo de ejemplo, algunas conclusiones a partir del procesamiento de los datos adquiridos.

Palabras clave: Analíticas del aprendizaje, minería de datos educativa, prácticas interactivas en el CV.

1. Introducción

La realización de prácticas de laboratorio es esencial en las asignaturas de Ciencias e Ingeniería, ya que constituyen el punto de unión entre los conocimientos teóricos que los alumnos adquieren en su titulación y los problemas reales a los que podrán enfrentarse en su futura vida laboral. Aprovechando los recientes avances técnicos en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), muchas de las prácticas de laboratorio tradicionales se están sustituyendo progresivamente, o complementando, por laboratorios virtuales (simulaciones por computador) y laboratorios remotos (prácticas con dispositivos reales accesibles a través de Internet). De esta forma se puede hacer frente al alto coste y baja disponibilidad que suelen presentar los laboratorios tradicionales y que repercute en un menor tiempo de uso efectivo por parte del alumno (Rutten et al., 2012; de Jong et al., 2013).

El grupo de Investigación de Ingeniería de Sistemas, Control, Automática y Robótica (ISCAR) de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) tiene una larga trayectoria en el diseño e implementación de prácticas de laboratorio, y ha desarrollado diferentes metodologías con el objetivo de facilitar la automatización, la creación y el mantenimiento de nuevas experiencias (Besada Portas, 2010; Besada Portas, 2014; Besada Portas, 2019; de la Torre Cubillo, 2016; de la Torre Cubillo, 2017).

Dependiendo de la práctica, se dispone de hasta tres versiones del laboratorio. En primer lugar, los laboratorios virtuales se basan en simulaciones por computador y son los más versátiles, aunque no pueden captar todos los matices de un sistema real. En segundo lugar, los laboratorios presenciales y tradicionales proporcionan al alumno acceso a un puesto de trabajo con el sistema de experimentación. Por último, los laboratorios remotos,

¹ Arquitectura de Computadores y Automática. Facultad de Ciencias Físicas. ebesada@ucm.es - <https://orcid.org/0000-0001-6129-4653>; jeschaco@ucm.es - <https://orcid.org/0000-0003-0898-3462>; jalo@ucm.es - <https://orcid.org/0000-0002-0987-229X>

una extensión de los tradicionales, dotan de acceso por Internet para recrear la experiencia de un laboratorio presencial sin necesidad de desplazarse físicamente al laboratorio.

Gracias al esfuerzo invertido en el desarrollo de las prácticas y la experiencia adquirida en el proceso, la situación actual permite explorar otras mejoras metodológicas. En primer lugar, la homogeneización de las prácticas existentes, de manera que, independientemente de la versión de la práctica de laboratorio (virtual, presencial o remota) se pueda presentar al alumno una estructura y diseño consistente, y así maximizar los resultados del aprendizaje, suavizando la transición entre las diferentes variantes de las prácticas y las asignaturas. Esta homogeneización de las prácticas se consigue a través de una metodología de diseño basada en el uso de la herramienta Easy Javascript Simulations (Cachón et al., 2021), que permite abordar el desarrollo de los laboratorios virtuales y remotos de manera accesible, y aporta importantes funcionalidades esenciales (simulación, recogida de datos, etc.) al tiempo que ayuda a conseguir unos resultados visualmente atractivos y coherentes entre actividades.

En este artículo nos centraremos en otros aspectos importantes para el docente, como son el seguimiento de la evolución del alumno y la monitorización de la efectividad de la práctica diseñada. Para ello se utilizan herramientas software interactivas que facilitan la recogida de una gran cantidad de información sobre la actividad del alumno durante la realización de la práctica, y se aborda el estudio de estos datos para analizar su proceso de aprendizaje. Los datos recogidos de las actividades realizadas durante las prácticas, junto con otras fuentes como las calificaciones y resultados de la asignatura, permiten un mejor conocimiento, no solo de la evolución del alumno sino de la práctica en general, que puede utilizarse tanto para la evaluación de los alumnos como para mejorar el diseño del laboratorio. Para llevarlo a cabo se aplican técnicas de *Learning Analytics* (Knocout et al., 2020), un área de investigación de creciente importancia en los últimos años y cuyas aplicaciones más frecuentes se centran en la optimización del entorno de aprendizaje, en la mejora del proceso de aprendizaje y, especialmente, en la mejora de los resultados de aprendizaje.

En este trabajo presentamos, mediante la realización de un sencillo ejemplo práctico de laboratorio, cómo integrar las herramientas analíticas del aprendizaje como parte del flujo de trabajo, aprovechando las capacidades de las herramientas EJS (Easy Javascript Simulations) y Moodle LMS (Learning Management System), para evaluar no solo las respuestas o resultados entregados por el alumno, sino para conocer el proceso que lleva a los alumnos a obtener sus resultados y para valorar el diseño del laboratorio en general.

La estructura del documento es la siguiente. La sección 2 presenta las herramientas utilizadas en este trabajo y discute la metodología propuesta para la realización de actividades evaluables y estudio del proceso de aprendizaje. En la sección 3, se describe un caso de estudio que demuestra la aplicación de la metodología propuesta. La sección 4 presenta una discusión de los resultados del estudio de los datos extraídos de la realización de la práctica, y de otras fuentes adicionales como las calificaciones y encuestas realizadas a los alumnos. Finalmente, en la última sección se recogen las conclusiones del trabajo y futuras líneas de mejora.

2. Metodología

La metodología que proponemos permite integrar el análisis del aprendizaje de forma natural y con un esfuerzo asumible. Se aplica a las asignaturas del área de Ingeniería de

Sistemas y Automática (ISA), pero podría ser extensible a muchas otras asignaturas. En general, dentro del proceso de análisis del aprendizaje se pueden identificar diferentes fases: medida, recolección, análisis e interpretación (Vargas et al., 2019). En nuestro caso, la medida y recolección de datos provendrá principalmente de las actividades realizadas durante las prácticas, complementándose con otras fuentes como las calificaciones y resultados de la asignatura. A partir del análisis de los datos se busca detectar relaciones significativas entre el modo en el que los alumnos realizan las prácticas y las calificaciones que obtienen, descubrir posibles mejoras en la forma de presentar la información a los alumnos, o determinar dificultades que pueden encontrar con el uso de la interfaz de la aplicación.

La integración de todas estas técnicas en el flujo de trabajo (es decir, la homogeneización de las prácticas, la recogida de datos, y el análisis y generación de informes) permite identificar posibles mejoras en la metodología docente. Para ello, aprovechamos el soporte que las herramientas software Easy Javascript Simulations (EJS, Esquembre et al., 2019) y Moodle LMS, ambas de código abierto y distribución libre y gratuita, proporcionan para llevar a cabo estas labores. Su uso combinado permite registrar los datos de interacción de los alumnos y facilita el desarrollo de las simulaciones e interfaces gráficas de los laboratorios virtuales y remotos. En este trabajo vamos a centrarnos en el uso de las dos herramientas mencionadas, junto con la extensión de Moodle *ejss-moodle-plugin*², que permite la integración de ambas para obtener el máximo beneficio.

Más en concreto, Easy Javascript Simulations es una herramienta de generación de simulaciones físicas interactivas, basada en una separación Modelo-Vista, en la que el modelo permite especificar el funcionamiento y la lógica interna de la aplicación mediante la definición de variables, modelos matemáticos, código, etc.; mientras que la Vista describe la interfaz y elementos gráficos que permiten al usuario interactuar con el modelo. Una de las principales virtudes de EJS es que simplifica en gran medida la creación de aplicaciones relativamente complejas, haciendo este proceso asequible a personas con limitada experiencia de programación, pero que pueden obtener beneficios de las herramientas interactivas aplicadas a sus áreas de conocimiento.

Por otra parte, Moodle LMS, probablemente la plataforma de aprendizaje más popular en la actualidad, es usada por muchas instituciones educativas en todo el mundo. Además de dar soporte a la gestión de contenidos, comunicación o evaluación, proporciona una gran cantidad de herramientas enfocadas a la recogida de datos del alumno, que pueden ser almacenados y procesados para realizar analíticas del aprendizaje, con el objetivo de obtener una mejor comprensión del proceso de aprendizaje del alumno, detectar posibles abandonos, realizar predicciones, etc. La extensión *ejss-moodle-plugin* proporciona la integración de las aplicaciones generadas con EJS en Moodle, y habilita el soporte a la recogida de datos de interacción del usuario a través de la Experience API (xAPI)³.

En el caso de estudio utilizaremos un laboratorio virtual dirigido a ejercitarse en una determinada técnica, reforzar un concepto teórico, proporcionar ejercicios interactivos que incrementen el interés del alumno, etc.

² <https://gitlab.com/ejsS/addon-projects/moodle-plugin>

³ <https://xapi.com/specification>

2.2 La actividad, vista por el alumno y el educador

La actividad, vista por el alumno, se divide en varias partes diferenciadas:

1. Preparación de la práctica: leer el guion y la documentación proporcionada, entender la tarea que debe realizar y los objetivos que tiene que conseguir.
2. Realización de la actividad mediante la herramienta interactiva (en nuestro ejemplo será un ejercicio práctico virtual) desarrollada con la herramienta EJS, tomando una serie de datos y adquiriendo una buena comprensión del comportamiento del sistema.
3. Contestar un cuestionario de evaluación con preguntas sobre la actividad, aportando los resultados que ha obtenido como parte del proceso de aprendizaje.

Por otra parte, desde el punto de vista del educador, la preparación requiere tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Preparación del guion y documentación de ayuda para la realización de la práctica.
2. Desarrollo de la aplicación del laboratorio virtual mediante la herramienta EJS.
3. Diseño del cuestionario de evaluación de la actividad.
4. Evaluación y calificación en base a las respuestas obtenidas en el punto 3, y los datos de interacción obtenidos en el punto 2.

Hay que remarcar que, gracias a la funcionalidad soportada por EJS y Moodle, la interacción del alumno con la aplicación del laboratorio virtual/remoto queda registrada automáticamente en Moodle, de manera que el profesor puede reconstruir la actividad hasta cierto punto, y así obtener una mejor perspectiva sobre el desempeño del estudiante.

2.3 Despliegue de la actividad

El despliegue de la actividad en Moodle puede ser realizado directamente, con el único requisito de disponer de la extensión de Moodle *ejss-moodle-plugin*, que permite la inclusión de la actividad EJS y la recogida de datos. En algunos casos, la Institución responsable del LMS puede no permitir la inclusión de la extensión necesaria para realizar la actividad. Para resolver este inconveniente se puede realizar una instalación propia de una plataforma Moodle de modo muy sencillo⁴ y conectar las dos plataformas de Moodle (la institucional y la externa) a través de la tecnología Learning Tools Interoperability (LTI)⁵, que está específicamente diseñada para compartir recursos entre instituciones (incluso entre diferentes LMS) y dar acceso a recursos de aprendizaje, y que incorpora otras funcionalidades como la matriculación automática, a través de la que los usuarios autenticados en una plataforma (p.e. el Moodle institucional) accedan directamente a la otra plataforma (p.e. el Moodle externo) que proporciona el recurso.

Los pasos de este proceso se esquematizan en la Figura 1: (1) el profesor diseña la práctica mediante la herramienta EJS en su equipo, verifica su funcionamiento y genera los archivos necesarios para su ejecución; (2) y (3) utilizando la extensión *ejss-moodle-plugin* incorpora y configura la experiencia en el Moodle externo; y (4) crea la actividad para su ejecución. Posteriormente, tal y como se observa en la Figura 2, en el Moodle institucional (donde están matriculados los alumnos), el profesor: (1) incorpora mediante la actividad “Herramienta externa” la práctica diseñada en el Moodle externo, (2) añade los elementos necesarios (instrucciones, cuestionarios y encuestas) y (3) hace que los alumnos puedan acceder a la práctica en el Moodle externo sin darse de alta en él.

⁴ https://docs.moodle.org/all/es/Instalación_de_Moodle

⁵ https://docs.moodle.org/all/es/LTI_y_Moodle

3. Diseño de la Actividad

La actividad diseñada, como ejemplo para ilustrar la metodología propuesta, consiste en una práctica de laboratorio de la asignatura de Sistemas Lineales (2º Curso) del grado de Ingeniería Electrónica de Comunicaciones. En ella se identifica la función de transferencia $G(s)$ de un sistema Lineal e Invariante en el Tiempo (LTI) mediante el estudio de la relación entrada-salida. Para identificar la $G(s)$ de un sistema real, un procedimiento básico pero muy didáctico e interesante desde un punto de vista docente, consiste en excitar el sistema con entradas sinusoidales de diferentes frecuencias, y observar la modificación en amplitud y fase que sufre la señal al pasar a través del sistema, para a continuación representar el diagrama de Bode del sistema. Del análisis de dicho diagrama se puede inferir cómo es $G(s)$ de dicho sistema.

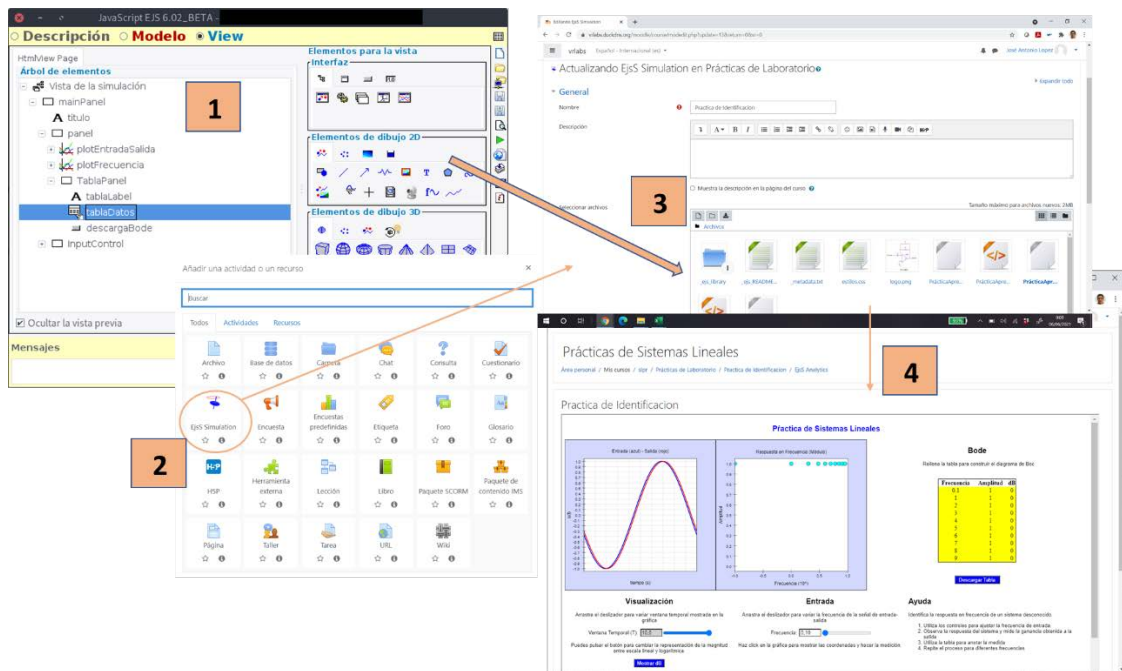


Figura 1. Creación de la actividad, inclusión en Moodle y conexión con el Moodle del CV.

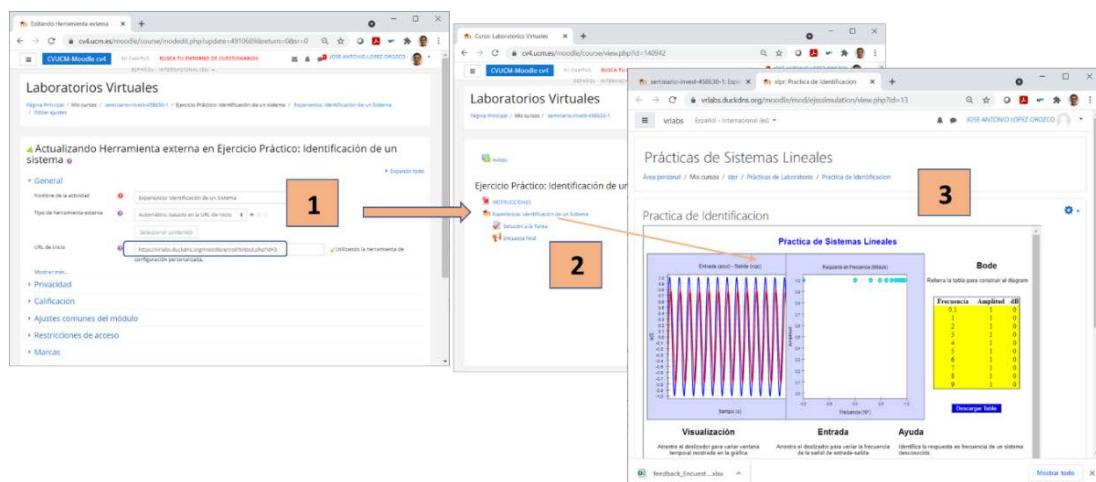


Figura 2. Incorporación del laboratorio en el Campus Virtual de la UCM.

Para ello, el alumno debe seguir el siguiente: (1) excitar el sistema con una señal sinusoidal de una frecuencia determinada; (2) observar la salida del sistema, medir la amplitud y calcular la razón entre la amplitud de salida y la de entrada en decibelios; (3)

anotar los pares de valores frecuencia-razón; (4) repetir el proceso para varias frecuencias; y (5) representar los pares obtenidos en una gráfica. A continuación, analizando esta representación gráfica es posible identificar la función de transferencia del sistema real. Finalmente, deberá contestar a una serie de preguntas recogidas en un cuestionario, para proporcionar la $G(s)$ obtenida y mostrar el proceso que ha seguido para identificarla.

4. Resultados

En esta sección, se analizan los datos adquiridos en la actividad para identificar posibles mejoras en el diseño de la práctica virtual y en el proceso de aprendizaje de los alumnos. La extensión *ejss-moodle-plugin* instalada en el Moodle externo, registra todas las acciones que el alumno realiza para la ejecución de la práctica y genera informes, como los de la Figura 3, analizables a posteriori. Actualmente, estamos desarrollando técnicas de minería de datos, que permitan extraer conclusiones más fácilmente.

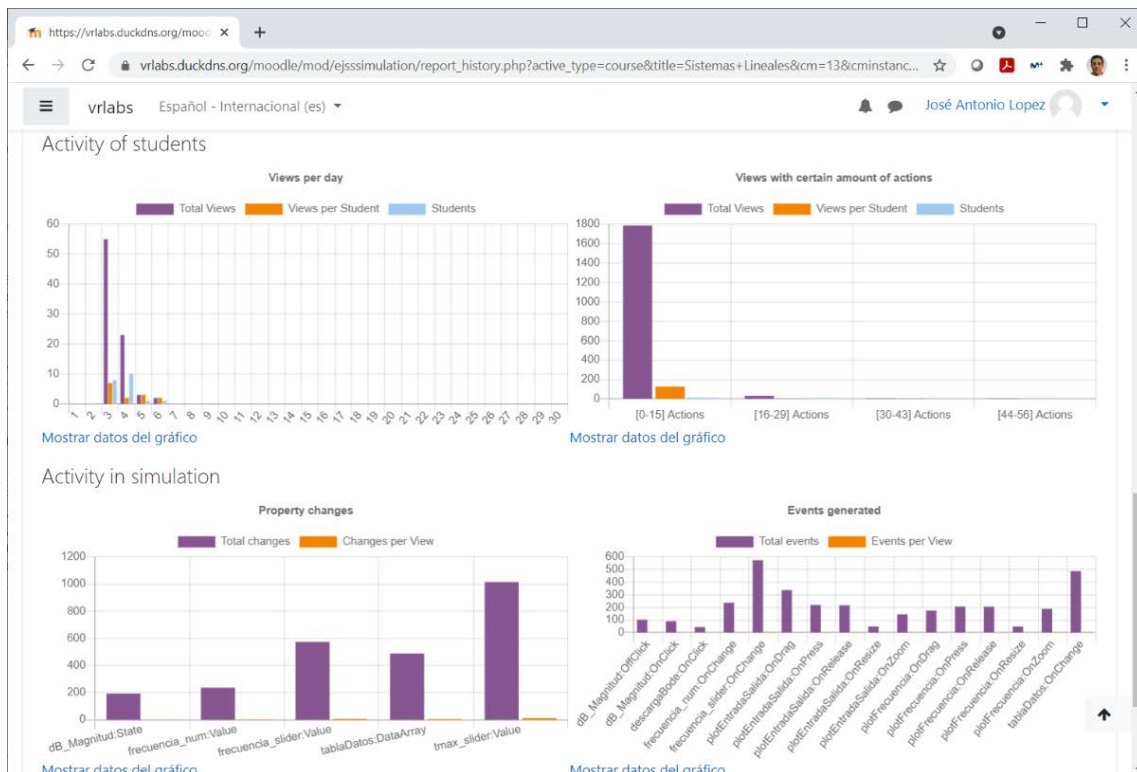


Figura 3. Informes de actividad en la práctica de EJS.

Un resumen del análisis de los eventos registrados puede verse en la Tabla 1. Aparte del alumno 2 (Alu2), que no ha finalizado la práctica, se observa que 6 alumnos han ejecutado la práctica varias veces: en la primera no grabaron la tabla y al salir perdieron sus valores. A pesar de que está claramente indicado que deben guardarla, la mayoría no leen las instrucciones, por lo que habrá que indicárselo de otra forma. Los datos permiten concluir que los alumnos necesitan, en media, 275 acciones para completar la práctica y casi 7 minutos para comprender su funcionamiento antes de comenzar a adquirir datos (T_{inicio}). El tiempo necesario para obtener la tabla de datos es muy variado (aunque en promedio de 15 minutos) y depende de la destreza del alumno. Los valores de $\Delta T_{análisis}$ indican el tiempo que ha pasado desde que el alumno descarga la tabla hasta que abandona la práctica virtual, por lo que podría proporcionar una idea del tiempo necesario para analizar los resultados y obtener la $G(s)$. Sin embargo, como algunos obtienen la $G(s)$ después de salir de EJS, este tiempo no es medido correctamente en todos los casos.

Tabla 1. Datos obtenidos del análisis de los eventos grabados por la herramienta EJS simulations

Alum#	Vistas	Acciones	Tiempo (mm:ss)	Obtención de la Tabla (mm:ss)			$\Delta T_{\text{Análisis}}$ G(s)	Evaluación
				Tinicio	$\Delta T_{\text{obtención}}$	$\Delta T_{\text{descarga}}$		
Alu1	5	81	0:26:29	0:16:00	0:10:17	0:00:12	0:00:00	0
Alu2	4	6	0:07:19					
Alu3	4	106	0:05:38	0:00:38	0:02:09	0:00:24	0:02:27	0
Alu4	2	408	0:31:04	0:15:46	0:13:13	0:00:17	0:01:48	0
Alu5	2	444	0:56:35	0:04:40	0:45:54	0:00:12	0:05:49	3
Alu6	2	211	0:08:11	0:01:21	0:06:17	0:00:33	0:00:00	1
Alu7	2	243	0:09:31	0:00:48	0:08:34	0:00:09	0:00:00	1
Alu8	1	502	0:34:00	0:13:27	0:11:51	0:00:15	0:08:27	2
Alu9	1	368	0:54:20	0:02:43	0:38:16	0:13:21	0:00:00	2
Alu10	1	133	0:16:09	0:04:26	0:11:03	0:00:34	0:00:06	0
Alu11	1	263	0:09:58	0:08:44	0:00:57	0:00:11	0:00:06	3

Para evitar este problema, se debería haber solicitado que incluyesen la G(s) en la aplicación (de forma que el evento quedase también registrado por el plugin). Los resultados de la evaluación de la respuesta del alumno en el cuestionario final se muestran en la última columna de la Tabla 1, indicando el grado de correctitud de la G(s) obtenida como: 0 mal, 1 polos mal, 2 ganancia mal, y 3 bien. Como sólo dos alumnos (el 18%) lo han resuelto adecuadamente, no se puede obtener un patrón y se necesitan datos de más alumnos.

Por último, mediante un cuestionario hemos evaluado la opinión y experiencia de usuario, cuyas respuestas quedan recogidas en la Figura 4. Se puede observar que sólo el 30% señalan no haber tenido dificultad con la identificación de la G(s), aunque sólo el 18% lo hagan correctamente. En cuanto a dificultades técnicas, es interesante observar que el 50% se quejan de usabilidad y el 30% de la interacción con los botones, algo que puede depender del navegador utilizado, ya que el equipo docente no ha observado nada particular en las pruebas realizadas. Es de destacar que el 80% de los alumnos han señalado que le parece interesante este tipo de prácticas y ejercicios interactivos como elemento para reforzar los conocimientos teóricos, lo que está en consonancia con el interés que muestran los alumnos con otras técnicas interactivas como la gamificación.

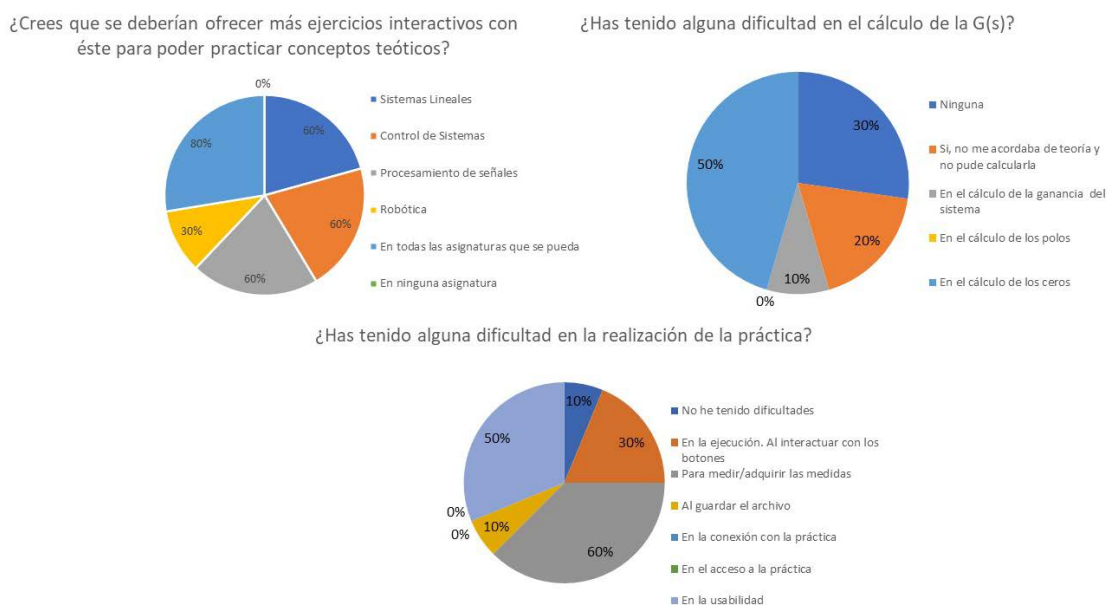


Figura 4. Resultados de la encuesta de satisfacción a los alumnos.

Sobre la respuesta a la pregunta abierta que se realiza en el cuestionario se pueden destacar dos comentarios: El primero referente a que la herramienta no proporcionaba los cálculos de la ganancia en decibelios directamente (que está en consonancia con que el 60% se quejen de la adquisición de medidas en otra pregunta). Es decir, se quejan de una decisión de diseño, tomada por el equipo docente, para que los alumnos realicen algunos cálculos y asimilen/aprendan el proceso de identificación de un sistema LTI mediante la adquisición experimental de su Bode. El segundo comentario se refiere a una lentitud en la ejecución de la práctica. No sabemos a qué se debe (p.e. si al servidor de Moodle donde se aloja la práctica virtual o a la conexión mediante LTI) ya que ese comportamiento, que analizaremos con detalle, no ha sido observado por el equipo docente.

5. Conclusiones

Se ha observado que la adquisición y el tratamiento de las acciones o eventos que los alumnos realizan para la ejecución de una práctica es una fuente muy útil para mejorar el diseño de las prácticas. Esto se debe a que permite identificar si hay alguna parte que los alumnos no entienden, el tiempo que necesitan para realizar cada apartado, cuanto tiempo han dedicado a la ejecución de la práctica, etc. También se observa que, aunque es una herramienta muy prometedora, necesita un diseño muy cuidadoso de la práctica para poder extraer la máxima información posible y que ésta sea fiable. Además, se debe limitar el uso de herramientas externas por parte del alumnado, ya que estas pueden dificultar la medida del proceso realizado por los mismos.

Por último, señalar que se ha llevado a cabo un análisis básico de los datos para mostrar las posibilidades que ofrecen este tipo de herramientas, pero no se ha profundizado en cada una de las acciones registradas en la práctica. Para ello sería fundamental disponer de herramientas de análisis más profundo, que estamos desarrollando, que realicen un procesado de los datos, muestren los resultados agregados, detecten anomalías, etc.

Referencias bibliográficas

- Besada Portas, Eva. «EJS-TwinCAT 3.0: Nuevo laboratorio remoto integrado en Moodle para prácticas de control de Ingeniería de Sistemas y Automática.» PIMCD-UCM nº 318, 2014/15.
- Besada Portas, Eva. «Herramienta integral y de bajo coste para el desarrollo de prácticas remotas para las asignaturas de Ciencias e Ingeniería.» PIMCD-UCM nº 139, 2019/20.
- Besada Portas, Eva. «Laboratorio presencial/remoto de prácticas de control en tiempo real basado en dispositivos industriales de última generación.» PIMCD-UCM nº 211, 2010/11.
- Chacon, J., E. Besada, G. Carazo, y J.A. López-Orozco. «Enhancing EJS with Extension Plugins.» *Electronics* 10, nº 3 (2021): 1-22.
- de Jong, T., M.C. Linn, y Z.C. Zacharia. «Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education.» *Science* 340 (2013): 305–308.
- de la Torre Cubillo, Luis. «Desarrollo y adaptación de laboratorios virtuales y remotos para asignaturas con necesidades de experimentación (II).» PIMCD-UNED, 2017/18.
- de la Torre Cubillo, Luis. «Desarrollo y adaptación de laboratorios virtuales y remotos para asignaturas con necesidades de experimentación.» PIMCD-UNED, 2016/17.
- Esquembre, F., F.J. García Clemente, R. Chicón, L. Wee, L. Kwang, y D. Tan. «Easy Java/JavaScript Simulations as a tool for Learning Analytics.» *Proceedings of the International Conference on Computers in Education*. Taiwan, 2019.
- Knocout, J., y E. van der Stappen. «Where is the Learning in Learning Analytics? A Systematic Literature Review on the Operationalization of Learning-Related Constructs in the Evaluation of Learning Analytics Interventions.» *IEEE Transactions on Learning Technologies* 13, nº 3 (2020): 631-645.
- Rutten, N., W.R. Van Joolingen, y J.T. Van der Veen. «The learning effects of computer simulations in science education.» *Computer Education* 58 (2012): 136-153.
- Vargas, H., y otros. «Automated Assessment and Monitoring Support for Competency-Based Courses.» *IEEE Access* 7 (2019): 41043-41051.