

Laboratorio universitario de matemáticas para autoevaluaciones del aprendizaje

Ricardo López Bautista¹, Georgina Pulido Rodríguez²

^{1,2}Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, CDMX, México.

Teléfono (55) 5318-9000 Ext. 55017 Fax (55) 53189540 E-mail: rlopez@azc.uam.mx gpr@azc.uam.mx

Resumen — Construimos en plataforma Moodle diversos laboratorios de matemáticas, con calificación y retroalimentación automática, los cuales son asíncronos y disponibles en la URL <https://galois3.azc.uam.mx/> para grupos de Ingeniería en UAM-Azcapotzalco. El uso de sistemas algebraicos computacionales nos permite ofrecer una forma diferente en el trabajo de docencia y alienta otras dinámicas de aprendizaje. En este trabajo solucionamos el problema de la sintaxis cuando los alumnos escriben sus respuestas sobre Moodle.

Palabras Clave – Laboratorio de matemáticas, evaluación automática en línea, ejercicios con solución paso a paso. Revisión y calificación de tareas de matemáticas.

Abstract - We built various math labs on the Moodle platform, with automatic grading and feedback, which are asynchronous and available at the URL <https://galois3.azc.uam.mx/> for engineering groups at UAM-Azcapotzalco. The use of computational algebraic systems allows us to offer a different way of teaching and encourages other learning dynamics. In this work we solve the problem of syntax when students write their answers on Moodle.

Keywords – Math lab, automatic online assessment, exercises with step-by-step solutions. Math homework review and grading.

I. INTRODUCCIÓN

Un problema recurrente en varias Universidades es el hecho de que la formación de muchos alumnos en temas básicos de matemáticas es deficiente; las causas de este problema son multifactoriales. Esto repercute en los materiales que uno como profesor debe cubrir en el curso [1]. Ante este problema, surge la necesidad de innovar y explorar nuevas formas de apoyar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. Como una contribución para intentar dar solución a este problema ideamos, probamos y finalmente construimos lo que llamamos Laboratorio de Matemáticas en Galois en línea [2].

El propósito de construir este laboratorio de matemáticas en línea sobre la plataforma Moodle, es que los alumnos lo encuentren disponible y puedan hacer las prácticas de laboratorio donde y cuando ellos lo deseen, trabajando a su propio ritmo. Las prácticas de laboratorio consisten en

questionarios con diez ejercicios, hay intentos ilimitados, en cada intento aparecen ejercicios diferentes, pero equivalentes en complejidad, y al terminar el intento el sistema entrega el “paso a paso” de cada ejercicio o bien, da la sintaxis para que el alumno use calculadoras dinámicas para mostrar otra forma de hacer el “paso a paso”. Los profesores Georgina Pulido, Ricardo López realizan el trabajo de programación para la creación de miles de ejercicios con retroalimentación específica. El laboratorio de matemáticas hace un uso extensivo de sistemas algebraicos computacionales (CAS) y calculadoras dinámicas; estos recursos tecnológicos nos permiten ofrecer una forma diferente en nuestro trabajo de docencia y alienta otras formas de aprendizaje en los alumnos. Además, el uso de estas herramientas permite un cambio en los objetivos del curso; ya no privilegia el cálculo manual de operaciones matemáticas y elige el proceso de razonamiento en temas de importancia en ingeniería [3], [4].

La actividad del laboratorio la concebimos como una actividad con un ingrediente experimental, la cual es apoyada con una serie de herramientas (CAS) para realizarlas, para construir una liga entre las nociones iniciales de conceptos y las estrategias informales de los alumnos y por el otro, técnicas, algoritmos y procedimientos matemáticos formales del objeto de estudio [6].

Consideramos que el principal logro en nuestros laboratorios de matemáticas es que se han diseñado, desarrollado e implementado para dar la calificación y retroalimentación detallada usando Moodle y que los bancos de ejercicios están contruidos con preguntas tipo “Cloze” y “Stack” [9].

II. METODOLOGIA

Ofrecemos diversos cursos semipresenciales de matemáticas en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A). Para ello, los autores han construido sobre la plataforma Moodle, el sistema galois en línea, con URL <https://galois3.azc.uam.mx/>. En estos cursos existen varios recursos y actividades, destaca el laboratorio de matemáticas.

Los alumnos inscritos al curso pueden ingresar desde el primer día de clases a cada uno de los laboratorios virtuales. Estos laboratorios están disponibles 24x7 durante todo el trimestre. El alumno, si lo desea, puede acudir al salón

asignado y en el horario de clase a estudiar, a participar en discusiones de grupo, a analizar problemas con sus compañeros, a pedir asesoría a sus profesores y a presentar laboratorios.

El laboratorio de matemáticas es una estrategia pedagógica de uso de recursos disponibles y realización de una serie de actividades, esencialmente resolver ejercicios de matemáticas en la plataforma, con calificación y retroalimentación automática del sistema y calificación y revisión en manuscrito por parte del profesor. En la relación entre actividad matemática y material manipulativo, lo que se busca es la construcción y fundamentación del pensamiento matemático por medio del aprendizaje [1].

Las prácticas de laboratorio son formativas. Cada laboratorio tiene calificación tanto en línea como por el profesor del curso, usando el manuscrito del alumno, esto es, con calificación en línea y en manuscrito llegamos a la calificación del laboratorio [5].

- Los laboratorios en línea, disponibles en cualquier lugar y momento, son las guías para tareas y exámenes. Se encuentran los temas del curso y ejercicios con procedimiento de solución "paso a paso" dado por calculadoras dinámicas o bien la construcción del "paso a paso" hecho por los profesores.
- Los ejercicios de laboratorio permiten revisar, practicar y ver los métodos de solución para cada uno de los ejercicios y temas del curso.
- Los alumnos se apoyan en sistemas algebraicos computacionales disponibles en el sistema, como Symbolab, calculadoras de derivadas, integrales, Mathematica, calculadoras dinámicas, libros, videos, sitios web de matemáticas, etc. para hacer los ejercicios de laboratorio.
- En cada intento, el sistema presenta laboratorios diferentes unos de otros y con ejercicios equivalentes en cuanto a nivel de complejidad a tareas / exámenes.
- Al terminar cada laboratorio se obtiene una calificación al instante, se muestra cuáles son las respuestas correctas, se brinda retroalimentación consistente en el procedimiento detallado de solución de cada problema.
- Para cada laboratorio, en el aula correspondiente está disponible el libro de galoisenlinea, donde se encuentra su correspondiente sección de tutoriales, ejercicios resueltos, videos, calculadoras dinámicas, sitios web de matemáticas, etc.

A. El laboratorio de matemáticas y el problema de sintaxis para su evaluación en línea

En Moodle existen diversos tipos de preguntas para escribir los ejercicios de matemáticas, algunas de ellas son: opción múltiple, numérica, tipo cloze y otras.

Las preguntas cloze, también conocidas como preguntas con respuestas anidadas, consisten en un texto que se puede integrar en formato Moodle. En los laboratorios en galoisenlinea, trabajamos únicamente con las preguntas del

tipo cloze. Esto significa que dada una pregunta el alumno debe escribir su respuesta en forma algebraica.

El problema de sintaxis para evaluación en línea en laboratorios de matemáticas sobre un sistema de gestión de aprendizaje (Learning Management System, LMS), constituye precisamente en decidir cómo escribir la respuesta siguiendo ciertas convenciones de sintaxis al usar algún sistema algebraico computacional instalado sobre la plataforma, en nuestro caso, la sintaxis es la del Sistema Algebraico Computacional (CAS) vxMaxima. Los ejercicios se construyen combinando dos tipos de preguntas: las de tipo Stack y las de tipo cloze. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de ejercicio y en la Fig. 2 se muestra la solución de éste.

¿Cómo deberá escribir en la plataforma Moodle este resultado? La sintaxis que el alumno escribirá en la caja de respuestas se muestra en la Fig. 3.

Fig. 1. Ejercicio de derivación implícita en un laboratorio

Fig. 2. Resultado de ejercicio de derivación implícita en un laboratorio

$$\frac{(-y^{5/2}+8*\sqrt{x}*y^{3/2}+8*x^{3/2}*y+6*\sqrt{x}*sqrt(y))}{(4*x*y^{3/2}-8*x^{3/2}*sqrt(y)-2*x^{5/2})}$$

Fig. 3. Sintaxis para respuesta de ejercicio de derivación implícita en un laboratorio

B. Prácticas para escribir la sintaxis correcta de las respuestas.

En los ejercicios del laboratorio, como todos los ejercicios “stack” Es de importancia fundamental que alumnos escriban correctamente la sintaxis de sus respuestas a los ejercicios. En el sistema, tenemos un recurso de cuestionario para que los alumnos practiquen el laboratorio. Este cuestionario tiene intentos ilimitados; al terminar el cuestionario el sistema le califica automáticamente y muestra cual es la sintaxis correcta.

Un problema que teníamos en el día a día en nuestros cursos de matemáticas era cómo hacer que el sistema “entendiera” la respuesta escrita en la caja de respuestas. Había problemas como cuestiones de orden, por ejemplo, si la respuesta programa para un ejercicio era “x+1” y el alumno escribía como respuesta “1+x” ésta era incorrecta para el sistema porque el analizador lexicográfico era rígido y consideraba solamente cadenas de caracteres idénticas.

C. Organización del curso en diez unidades.

Dividimos el material del curso en Unidades con una guía de estudio; se especifican ahí los objetivos que se pretenden alcanzar en cada fase del curso, la manera de alcanzar dichos objetivos, para ello tenemos el “Libro de galoisenlinea” donde el alumno encontrará los recursos para cada unidad.

D. Ejercicios, retroalimentación, manuscrito del Laboratorio de matemáticas

En la Fig. 4 mostramos un ejercicio de laboratorio para Cálculo Diferencial. En las Fig. 5 y 7 aparece el texto que los alumnos copian para que las calculadoras dinámicas les construyan el procedimiento de solución “paso a paso”. En la Fig. 6, mostramos el procedimiento que los profesores escriben, donde se muestra el procedimiento de solución “paso a paso”.

Fig. 4. Ejercicio de derivación implícita en un laboratorio

Para obtener el paso a paso en la Calculadora de derivadas, procede de la siguiente forma:

Copia la siguiente fórmula, click en el icono de Calculadora de derivadas



y pega en su ventana de datos:

$$\sqrt{x}y^2 - 5x = 9xy - 4x^2\sqrt{y}$$

Allí obtendrás la solución del ejercicio paso a paso. Además, tú podrás dar nuevos datos para generar otros ejercicios y esta calculadora de derivadas te lo resuelve paso a paso. **El libro**

Fig. 5. Aparece el “copy - paste” para obtener el procedimiento de solución “paso a paso” usando la calculadora dinámica de derivadas

Usaremos diferenciación implícita:

Diferenciamos la ecuación implícitamente. $\sqrt{x}y^2 + 2x = 8xy + 7x^2\sqrt{y}$

Para ello, derivamos ambos lados de la igualdad:

$$\sqrt{x}y^2 + 2x = 8xy + 7x^2\sqrt{y},$$

Haciendo actuar el operador de diferenciación $\frac{d}{dx}$ en cada lado de la ecuación función de x obtenemos:

$$\frac{d}{dx}(\sqrt{x}y^2 + 2x = 8xy + 7x^2\sqrt{y})$$

Aplicando la linealidad del operador $\frac{d}{dx}$, tenemos:

$$\frac{d}{dx}(\sqrt{x}y^2 + 2x) = \frac{d}{dx}(8xy) + \frac{d}{dx}(7x^2\sqrt{y})$$

Haciendo las derivaciones indicadas, en cada término de la ecuación, obtenemos

$$2\sqrt{x}y \left(\frac{dy}{dx}\right) + \frac{y^2}{2\sqrt{x}} + 2 = \frac{7x^2 \left(\frac{dy}{dx}\right)}{2\sqrt{y}} + 8x \left(\frac{dy}{dx}\right) + 8y + 14x\sqrt{y}$$

Simplificando, obtenemos:

$$2\sqrt{x}y \left(\frac{dy}{dx}\right) + \frac{y^2}{2\sqrt{x}} + 2 = \frac{7x^2 \left(\frac{dy}{dx}\right)}{2\sqrt{y}} + 8x \left(\frac{dy}{dx}\right) + 8y + 14x\sqrt{y}$$

De esta última expresión, despejamos $\frac{dy}{dx} = y'$, obteniendo


$$\left[\frac{dy}{dx} = \frac{-y^{\frac{5}{2}} + 16\sqrt{x}y^{\frac{3}{2}} + 28x^{\frac{3}{2}}y - 4\sqrt{x}\sqrt{y}}{4xy^{\frac{3}{2}} - 16x^{\frac{3}{2}}\sqrt{y} - 7x^{\frac{5}{2}}} \right]$$

Fig. 6. El procedimiento de solución “paso a paso” que los profesores construyen y que el sistema abre automáticamente al finalizar el laboratorio.

Symbolab. Una calculadora dinámica

Solución paso a paso para ejercicios similares: usa la calculadora dinámica Symbolab. Alumna, alumno, es importante que analices el procedimiento dado por Symbolab en cada ejercicio; aprenderás otras posibles formas de resolver los ejercicios.

Para obtener el paso a paso en Symbolab, procede de la siguiente forma:

Copia la siguiente fórmula, click en el icono de Symbolab  y pega en su ventana de datos:

implicit derivative $\frac{dy}{dx}, \sqrt{x} y^2 - 5x = 9xy - 4x^2 \sqrt{y}$

Allí obtendrás la solución del ejercicio paso a paso. Además, tú podrás dar nuevos datos para generar otros ejercicios y Symbolab te lo resuelve paso a paso.

Fig. 7 Aparece el “copy-paste” para obtener el procedimiento de solución “paso a paso” usando la calculadora dinámica Symbolab.

E. Sobre la sintaxis para escribir respuestas en laboratorios.

En los laboratorios de matemáticas, hemos dado solución al problema de sintaxis para respuestas escritas en “cajas” de respuestas, utilizando únicamente pregunta de tipo “cloze” combinadas con preguntas de tipo “Stack”. En la plataforma Moodle, está instalado el sistema algebraico computacional vxMaxima, que utiliza las preguntas tipo Stack y de esta forma busca la sintaxis adecuada para la respuesta ingresada. Además, vxMaxima, busca respuestas equivalentes al resultado esperado. Note que, con esto logramos que el sistema supere el problema de tomar las respuestas como cadena de caracteres, pues la dificultad al hacerlo así es que las expresiones $1+x-x^2$, $x+1-x^2$ son diferentes y por lo tanto tomaría una de ellas como errónea.

F. Recursos didácticos

Los recursos didácticos para el laboratorio de matemáticas han sido ordenados, clasificados en unidades de acuerdo con el programa analítico y están disponibles para que sirvan de apoyo a los laboratorios de matemáticas, autoevaluaciones, tareas y exámenes. Estos recursos se encuentran en el “Libro de Galois en línea”, disponible en el aula virtual [8].

Aquí aparecen clasificados por tema: teoría, tutoriales, libros, calculadoras dinámicas, videos, ejercicios dinámicos en tiempo real con procedimiento “paso a paso”, screencasts, sitios web de matemáticas de universidades, manuscritos de ejercicios. cursos on-line.

G. Calculadoras dinámicas para laboratorio

Las herramientas para trabajar los laboratorios son diversos sistemas algebraicos computacionales (CAS), que realizan el procedimiento de solución de cada ejercicio propuesto. En estos CAS, los usuarios experimentan, diseñan y construyen nuevos ejercicios obteniendo “el paso a paso de la solución” al instante. Destacan entre estos CAS:

Symbolab, Calculadora de derivadas/integrales, Wolfram Alpha, Mathematica (instalación vía UAM), o bien podrá instalar CAS que son libres como Octave, Sage, Maxima, Scilab [5].

En la figura 8, mostramos los diversos CAS que utilizamos en los laboratorios, así como su respectiva URL.





















 Calculadora de Derivadas Calcula en 1 paso derivadas... por pasos y graficas	https://www.calculadora-de-derivadas.com/
 Symbolab Pasos	https://es.symbolab.com/solver/derivative-calculator
 MathDF	https://mathdf.com/der/es/
 WolframAlpha	https://www.wolframalpha.com
 MathSolver	https://mathsolver.microsoft.com/es/calculus-calculator
 GeoGebra	https://www.geogebra.org/
 SymPy	https://gamma.sympy.org/
 MathStudio Professional Users	http://mathstud.io/
 desmos	https://www.desmos.com/calculator?lang=es
 Mathway	https://www.mathway.com/es/Calculus
 cymath Fast. Math. Solves with Steps.	https://www.cymath.com/sp/
 Calculatored.com	https://www.calculatored.com/es/1/math/calculus
 SageMath	https://www.sagemath.org/download.html
 GNU Octave	https://www.gnu.org/software/octave/download
 wxMaxima	http://wxmaxima-developers.github.io/wxmaxima/download.html
 MATHEMATICA	https://www.uam.mx/ti/soft/wolfram.html
 SciPy	https://scipy.org/download/
 SymPy	https://www.sympy.org/en/download.html
 Scilab	https://www.scilab.org/download/scilab-6.1.1
 CalcMe	https://calcme.com/a

Fig. 8 Sistemas algebraicos computacionales y calculadoras dinámicas usadas en laboratorio.

H. Herramienta para revisión y calificación de laboratorio.

En la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco tenemos el Sistema de Aprendizaje Individualizado (SAI), el cual es una opción en el proceso de enseñanza – aprendizaje, cuya metodología se basa en que el contenido de un curso se subdivide en temas concretos o unidades en donde cada una de estas unidades constituye una meta a lograr. Cuando se llega a esa meta, se comienza con otra unidad del curso. Cada estudiante avanza a su propio ritmo (según su capacidad, el tiempo de que dispone, su motivación, etc.), pero en el transcurso de las semanas y cuando así lo considere, es apoyado por un asesor que aclara dudas, refuerza contenidos, orienta sobre formas de estudio, etc. Cuando el estudiante lo considera, da la prueba sobre esa meta; si alcanza la meta, junto con su asesor planean la siguiente, si no, juntos analizan qué falló y hacen los ajustes necesarios para intentarlo de nuevo. La suma del logro de esas metas concretas facilita el logro de la meta general: aprobar el curso.

- El sistema califica el intento de laboratorio automáticamente al término de éste, de acuerdo con la respuesta que escribe en la caja de respuestas. De importancia fundamental para que el sistema califique, es el hecho de que el alumno deberá capturar su respuesta, escribiendo y respetando la sintaxis de la expresión algebraica de su resultado [7].
- Los profesores revisan el laboratorio y su manuscrito, para validar o corregir la calificación que otorga el sistema, atendiendo al procedimiento escrito y verificando el paso a paso.
- El sistema califica la respuesta escrita en cajas y los profesores validan esta calificación revisando el paso a paso de solución en el manuscrito.
- Los profesores, por medio de la plataforma, harán anotaciones sobre el manuscrito indicando dónde hay error o bien envían un archivo donde se indica cuáles ejercicios tienen error o errores y se marca el lugar exacto donde aparecen, o bien, a partir de la situación que conduce al error. Se hacen anotaciones acerca de la forma de trabajo para que el o la sustentante lo considere para la próxima vez que realice un ejercicio parecido. Si no es posible explicar sobre el manuscrito, se crea un archivo para agregarlo con la retroalimentación pertinente.
- La calificación del laboratorio es la suma del puntaje del laboratorio en línea más el puntaje del manuscrito del laboratorio.

En la figura 9 mostramos el manuscrito que los alumnos suben a plataforma. En la figura 10, los profesores revisan y califican los ejercicios de su tarea, anotando, si fuera el caso errores en el procedimiento de solución “paso a paso”.

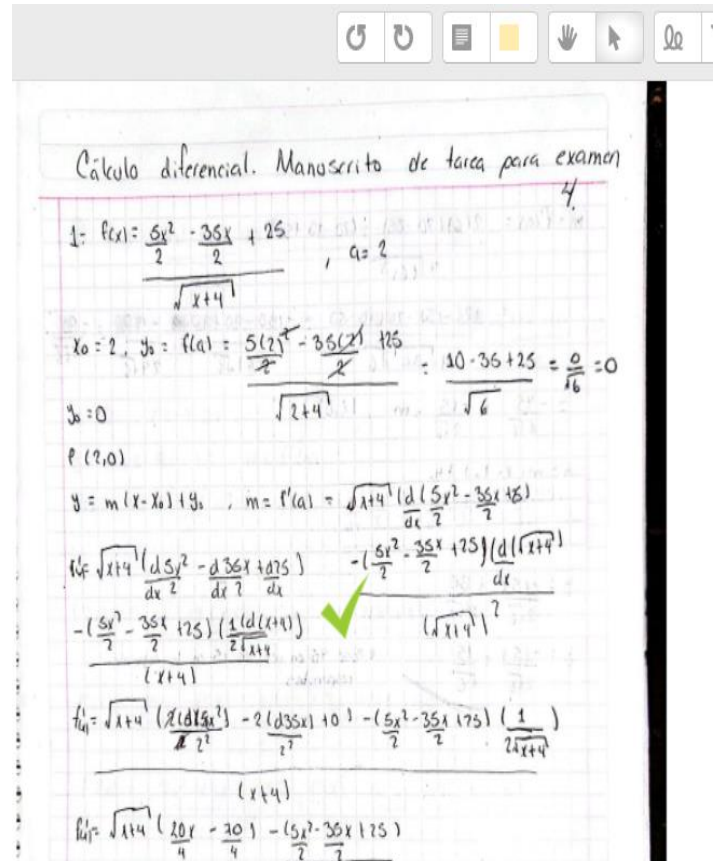


Fig. 9. Manuscrito de laboratorio, subido por el alumno a plataforma.

Calificación sobre 10

6.00

Calificación actual en el libro

6.00

Comentarios de retroalimentación

Ejercicio	Escritura en caja de respuesta	Escritura en manuscrito	
1	0.00	1.00	
2	1.00	1.00	
3	0.00	0.00	Mal su derivada. En todos sus resultados SIEMPRE debe simplificar, MAS ES LA SEGUNDA DERIVADA. No puede dejar indicados productos, etc. Debe hacer la simplificación
4	1.00	1.00	
5	0.00	1.00	Error en línea 3, vea su manuscrito calificado
	2.00	4.00	6.00

Fig. 10. Observaciones del profesor a ejercicios de manuscritos de laboratorio en línea de los alumnos.

III. RESULTADOS

1. Construimos diversos laboratorios de matemáticas los cuales han sido puestos en funcionamiento para diversos grupos de las carreras de Ingeniería en UAM-A a partir del 2021, para los cursos: Introducción al Cálculo, Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Introducción al Álgebra Lineal, Complementos de Matemáticas.
2. Disponibles durante todo el ciclo escolar 24x7 en la URL <https://galois3.azc.uam.mx/>
3. El alumno puede hacer el laboratorio cuantas veces lo desee y donde quiera, sin importar la hora. Todos los intentos presentan ejercicios diferentes, pero con grado de dificultad equivalentes entre sí.
4. En este trabajo mostramos como solucionamos el problema de la sintaxis cuando los alumnos escriben sus respuestas en plataformas tipo Moodle
5. El sistema califica automáticamente los ejercicios que el alumno hace.
6. Dos formas de retroalimentación: Procedimiento de solución paso a paso hecho por los profesores o el alumno construye el “paso a paso” con ayuda de una serie de calculadoras dinámicas insertas en cada laboratorio.

En la Tabla I se muestra una estadística descriptiva con dos grupos de Cálculo Diferencial con las mismas condiciones de trabajo; algunos alumnos decidieron usar el laboratorio de matemáticas, otros decidieron no tomarlos en cuenta, posiblemente porque no formaban parte de la calificación definitiva; se propusieron como actividades de apoyo al aprendizaje. En plataforma, existe una bitácora para ver las actividades que los alumnos realizan, detectamos quienes no hicieron uso del laboratorio y quienes sí.

TABLA I.
COMPARACIÓN DE ALUMNOS DE CÁLCULO DIFERENCIAL
QUE USARON EL LABORATORIO

Grupos	Número de alumnos	Usaron el laboratorio	Aprueban el curso	No usaron el laboratorio	Aprueban el curso
A	38	22	17	16	5
B	26	15	12	11	3

Consideramos que hay que probar esta estrategia con más alumnos y grupos y proponer algún método estadístico para una prueba de hipótesis formal. Por ahora, la percepción que se tiene es que, en cada grupo, aquellos alumnos que decidieron usar el laboratorio tienen más experiencia y herramientas que les permiten obtener mejores calificaciones que quienes no lo usan.

IV. CONCLUSIONES

Los autores consideran que el poner a disposición el mayor número de recursos a alumnos redundará en la calidad del proceso de enseñanza aprendizaje que reciben los alumnos. Hemos construido los laboratorios de matemáticas priorizando el aprendizaje asincrónico.

Consideramos que muchas universidades, profesores y alumnos resultarían beneficiados usando este tipo de recursos pues el hecho mostrado aquí de cómo superar el problema de sintaxis para respuestas en evaluaciones en línea abre un mundo de posibilidades y recursos tanto para universidades, profesores y sobre todo para alumnos. Mostramos una dinámica donde un alumno podrá hacer un laboratorio en cualquier día y hora de la semana, que el sistema le califique su intento y que reciba el alumno las respuestas automáticamente.

REFERENCIAS

- [1] J. M. Ruiz Socarras. Problemas actuales de la enseñanza aprendizaje de la matemática Universidad de Camagüey, Cuba. Revista Iberoamericana de Educación ISSN: 1681-5653 n.º 47/3 - 25 de octubre de 2008 Editor: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI).
- [2] R. C. Paiva, M. S. Ferreira, A. G. Mendes, A. J. Eusebio. Interactive and Multimedia Contents Associated with a System for Computer Aided Assessment Journal of Educational Computing Research 2015, Vol. 52(2) 224-256, 2015.
- [3] J. Martín-Vaquero, M. J. Cáceres, G. Rodríguez, A. Queiruga-Dios, F. Yilmaz. "Basic mathematics assessment in engineering degrees: Case study," 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2018, pp. 1639-1644.
- [4] L. Smolinsky, G. Olafsson, B. D. Marx, G. Wang. "Online and Handwritten Homework in Calculus for STEM Majors". Journal of Educational Computing Research 2019, Vol. 57(6) 1513-1533.
- [5] Artigue, M. "Learning Mathematics in a CAS Environment: The Genesis of a Reflection about Instrumentation and the Dialectics between Technical and Conceptual Work". International Journal of Computers for Mathematical Learning. 7. 245-274. 10.1023/A:1022103903080.2002.
- [6] O.A. Pabón-Ramírez, Et Al. "El Laboratorio de Matemáticas: una estrategia de producción y uso de recursos pedagógicos en la clase de matemáticas". XIII CIAEM-IACME, Recife, Brasil 2011.
- [7] L. Smolinsky, B. D. Marx, G. Olafsson. "Computer-Based and Paper-and-Pencil Tests: A Study in Calculus for STEM Majors". Journal of Educational Computing. Research 2020, Vol. 58(7) 1256-1278, 2020.
- [8] E. Dorrego. "Distance Education and Learning Evaluation". Universidad Central de Venezuela. <https://www.um.es/ead/red/M6/dorrego.pdf>. (visitado 30 de junio 2022).
- [9] STACK https://docs.moodle.org/400/en/STACK_question_type#