

El aula invertida para la docencia de Física

The flipped classroom for Physics teaching

Patricia Ruiz-Galende^{1,2}, Mónica Montoya³, Iciar Pablo-Lerchundi¹, Patricia Almendros³, Fabio Revuelta²
patricia.ruiz@alumnos.upm.es, monica.montoya@upm.es, iciar.depablo@upm.es, p.almendros@upm.es, fabio.revuelta@upm.es

¹Grupo de Investigación ForPROFE y Grupo de Innovación Educativa Didáctica de la Química, Instituto de Ciencias de la Educación.

²Grupo de Innovación Educativa Física Interactiva y Grupo de Sistemas Complejos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas

³Grupo de Innovación Educativa Química y Análisis Agrícola, Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas

Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

Resumen- En este trabajo presentamos una experiencia docente on-line con estudiantes universitarios de primer curso basada en la aplicación del aula invertida para el estudio de cinemática de sólido rígido. Los resultados del estudio no demuestran diferencias significativas con respecto a otros temas tratados ni con respecto al mismo tema en el curso anterior, en el que la docencia no fue virtual sino presencial.

Palabras clave: aula invertida, metodologías activas, Física, sólido rígido

Abstract- In this work, we present an on-line educational experience with first-year university students based on the application of the flipped classroom to study kinematics of rigid solid. Our results show no statistical differences when compared with other parts of the Physics module nor with the results obtained last year, when the educational process was not virtual but in person.

Keywords: flipped classroom, active methodologies, rigid solid, Physics

1. INTRODUCCIÓN

La crisis provocada por la COVID-19 ha obligado a cambiar la forma de educar. Ha supuesto que tanto alumnos como profesores deban adaptarse rápidamente a un nuevo modelo como es la enseñanza on-line. En principio puede parecer un modelo atractivo y más interactivo para los estudiantes, pero el escenario en el cual se implanta, la celeridad de su aplicación y la falta de experiencia de la mayoría de los participantes puede llevar, en general, a unos peores resultados (Cifuentes-Faura, 2020). En este sentido, las metodologías activas pueden convertirse en una gran herramienta para la docencia on-line, al permitir que los alumnos sean participantes más activos de su proceso de aprendizaje, incluso en tiempos tan complicados como los que estamos viviendo.

Las metodologías activas incorporan habilidades cognitivas superiores según la taxonomía de Bloom (Santiago, 2019). Sin

embargo, muchas veces son difíciles de llevar a cabo debido a la falta de experiencia mencionada anteriormente, a la costumbre por la enseñanza tradicional, y a las complicaciones que suponen el cambio en el rol del docente y la implicación del alumnado (Fidalgo-Blanco et al., 2019; Torres-Belma, 2020). Por ello, se debe hacer el esfuerzo de cambiar el modelo tradicional que fomenta, en cierta manera, la pasividad de los estudiantes, que desarrollan principalmente la memoria, y aprovechar la implantación de la docencia on-line para incorporar este tipo de metodologías, que pueden llegar a estimular el aprendizaje por descubrimiento, el constructivismo y un aprendizaje más significativo y profundo (Murillo, 2007; Torres-Belma, 2020).

Un ejemplo de metodología activa que ayuda a promover la implicación del alumno en su proceso de aprendizaje y que, además, puede ser muy adecuada para la docencia on-line, es el aula invertida (“flipped classroom”) (Fidalgo-Blanco et al., 2019). Esta metodología fue popularizada por Jonathan Bergmann y Aaron Sams, quienes encontraron en ella una solución a los problemas de absentismo que observaron en la Escuela Secundaria de Woodland Park en Colorado (EE. UU.) (Bergmann & Sams, 2012). El aula invertida consiste en llevar a cabo las actividades tradicionalmente realizadas en el aula, fuera de ella (sobre todo a través de videolecciones), y dedicar el tiempo de clase a la resolución de dudas y la realización de ejercicios prácticos (Aguilera-Ruiz et al., 2017).

Por todo ello, se escoge el aula invertida como respuesta a la situación provocada por la pandemia, debido a su fácil adaptabilidad al contexto y los estudiantes. Entre sus ventajas destacan las siguientes (Cuevas-Monzonís et al., 2021):

- Flexibilidad en cuanto a la temporalidad y el espacio, ya que los vídeos proporcionados pueden ser visualizados por el alumno dónde y cuándo quiera y tantas veces como necesite, posibilitando una educación asíncrona.

- El aprendizaje queda en manos del estudiante convirtiéndole en agente activo del mismo, lo que favorece un aprendizaje más profundo y significativo (Fidalgo-Blanco et al., 2017).
- El tiempo de clase es mucho más efectivo y el rol docente pasa a ser más el de un mediador y un apoyo para el estudiante.

En este trabajo describimos la implementación del aula invertida para el proceso de enseñanza-aprendizaje de cinemática del sólido rígido (CSR) de la asignatura Física I del Grado en Ingeniería Agroambiental de la Universidad Politécnica de Madrid. Para ello, describimos en la siguiente sección el contexto en el que se ha llevado a cabo la experiencia. A continuación, en la sección 3, presentamos brevemente la metodología usada. En la sección 4 se recogen los principales resultados de nuestro estudio. Finalmente, el artículo se cierra con las conclusiones más importantes de nuestro trabajo.

2. CONTEXTO

La situación pandémica vivida desde marzo de 2020 impidió llevar a cabo la docencia presencial como era costumbre durante buena parte del curso 2019/20 y no ha sido hasta este curso 2020/21 cuando se ha podido ir recuperando paulatinamente la normalidad pre-pandémica. En nuestro centro, no obstante, se resolvió que los estudios de grado continuaran con la docencia on-line también durante todo este curso, por lo que fue necesario adaptar la docencia a la nueva realidad. Por ello, se decidió implementar el aula invertida en el tema 3 de la asignatura de primer curso Física I del Grado en Ingeniería Agroambiental en el que impartimos docencia, que consta del siguiente temario:

1. Cálculo vectorial
2. Cinemática del punto
3. Cinemática del sólido rígido (CSR)
4. Movimiento relativo
5. Estática (equilibrio, centros de gravedad y momentos de inercia)
6. Dinámica de sistemas

Con el objetivo de asegurar el correcto desarrollo de la innovación propuesta, en particular, y de una adecuada docencia on-line, en general, al comienzo del curso se preguntó a los alumnos si contaban con dispositivos adecuados para seguir las clases, respondiendo afirmativamente todos salvo uno (al que se le facilitó un ordenador portátil, dado que seguía las clases con ciertas dificultades usando el móvil y una tableta).

3. DESCRIPCIÓN

Para implementar el aula invertida en el proceso de enseñanza-aprendizaje de CSR, se ha creado una serie de 10 vídeos (con una duración de menos de 5min, como se puede ver en la Tabla 1) a los que los alumnos podían acceder a través de

Moodle y que debían visualizar a lo largo de dos semanas en su casa (mientras se trataban en las clases on-line los temas de movimiento relativo y dinámica del punto). En el vídeo inicial se explicaba cómo se iba a llevar a cabo la docencia del tema. Cada uno de los vídeos restantes estaba dedicado a un concepto concreto de CSR, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1: Contenidos de los vídeos V₁-V₉ usados en el aula invertida, junto con su duración (t_d), tiempo que tenían los alumnos para responder el cuestionario correspondiente (t_c), si lo hubiere, y relación con las preguntas del ejercicio de cinemática del sólido rígido de los exámenes parcial y final durante los cursos 2020/21 (P₁-P₆) y 2019/20 (P₁-P₅).

V	t_d	t_c	Contenido	P
V ₀	2' 4''	-	-	-
V ₁	3' 5''	30'	Qué es	-
V ₂	4' 9''	30'	Cómo se puede mover (traslación y rotación)	P ₁
V ₃	3' 17''	20'	Cómo componer traslaciones	
V ₄	3' 20''	3' 5''	Cómo componer rotaciones	
V ₅	4' 6''	30'	Cómo se compone un par de rotaciones	
V ₆	1' 19''	-	Cómo se componen traslaciones y rotaciones	P ₂
V ₇	3' 31''	-	Cómo se relaciona la velocidad de un punto con la de otro	
V ₈	4' 11''	60'	Cuáles son los invariantes	P ₃ (y P ₆)
V ₉	4' 14''	-	Cómo se calcula el eje instantáneo de rotación y deslizamiento	P ₄ y P ₅

Con el objetivo de aumentar la motivación de los alumnos e incorporar ciertas relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad, en el ejercicio correspondiente al vídeo V₆ se planteaba a los alumnos que visualizaran un par de vídeos dedicados al parkour y al "skate", y que dibujaran las velocidades de traslación y rotación en dos momentos concretos.

Este curso, la asignatura ha contado con 46 alumnos matriculados, de los que 38 eran de nuevo ingreso. Para llevar a cabo la evaluación, después de visionar cada vídeo, se pedía a los alumnos que cumplimentaran un breve cuestionario con entre dos y diez apartados a través de Moodle, tanto con limitación de tiempo como sin ella (ver Tabla 1). Para asegurarnos un correcto proceso de enseñanza-aprendizaje, una vez pasado el periodo de visualización de los vídeos, se llevó a cabo una sesión on-line de 1 hora de duración dedicada a profundizar en los conceptos más abstractos. En esta sesión, el profesor clarificó, por medio de la lección magistral, algunos conceptos a los alumnos como qué significa un par de rotaciones o qué es un eje instantáneo de rotación y deslizamiento; hay que indicar que este último concepto requiere de una exposición relativamente larga, frente a las explicaciones breves (y mucho más sencillas) de los vídeos

usados en las tareas en casa. Una vez impartida toda la teoría hubo dos sesiones de 1 hora y 15min cada una en las que, primero el profesor y luego los alumnos bajo su supervisión, resolvieron problemas más complejos (similares a los del examen), que combinaban todos los conceptos tratados en los vídeos y test previamente realizados. Durante las sesiones anteriores, así como a lo largo de las tres semanas que duró la experiencia, el profesor también resolvió las dudas que tenían los alumnos. Además, los alumnos que lo desearan podían realizar dos ejercicios optativos para subir nota (similares a los explicados en las últimas dos sesiones con el profesor). Por último, se dio una semana de plazo para que los alumnos que lo quisieran repitiesen los cuestionarios (una vez conocida la calificación de los mismos) o los hiciesen por primera vez (en caso de no haberlos completado antes) después de las tres sesiones on-line. De esta forma, nos asegurábamos de que la evaluación se llevaba a cabo después de que todos los alumnos hubieran tenido la oportunidad de resolver sus dudas y corregido posibles errores, así como haber recibido la retroalimentación necesaria. Además, nos asegurábamos de que podían enmendar, los problemas que podían haber tenido a la hora de responder a los cuestionarios. Por último, se pidió a los alumnos que respondieran a una encuesta de satisfacción con 15 preguntas para valorar la metodología, el tiempo y materiales utilizados y posibles propuestas de mejora.

Para comprobar la efectividad de la metodología utilizada, hemos tomado como referencia dos tipos de resultados. Por un lado, hemos comparado las calificaciones en la evaluación continua de CSR con las de cada uno de los ejercicios de los temas 1-4 de los exámenes parcial (celebrado en noviembre de 2020) y final (febrero de 2021) de este curso. Hay que indicar que el examen parcial tiene carácter eliminatorio, por lo que los alumnos que lo aprueban (calificación mayor o igual que 5,0) no tienen que examinarse de esa parte en el final. La Tabla 1 establece cómo se relacionan las diferentes preguntas P₁-P₆ del ejercicio de CSR con los vídeos empleados. No se han considerado las notas de los ejercicios correspondientes a los temas 5 y 6 porque éstos sólo se evalúan en el examen final. La comparativa de las calificaciones anteriores permite determinar la efectividad del aula invertida en comparación con la docencia on-line más tradicional usada en los otros temas, que se ha basado en lecciones magistrales, resolución de problemas, prácticas de laboratorio, etc.

Por otro lado, hemos estudiado, también, las calificaciones en los exámenes parcial y final del pasado curso 2019/20 para identificar posibles sesgos debido al particular desarrollo de este curso (docencia on-line, poco contacto con los compañeros, posibles situaciones de ansiedad y estrés de los alumnos, etc.). Esto nos permite contextualizar el aprendizaje del tema de CSR respecto a los demás, evitando las posibles distorsiones debido al uso de una docencia on-line. Hay que indicar que el curso pasado el ejercicio de CSR tenía un apartado menos que el actual, por lo que únicamente constaba de 5 preguntas (no aparecía la pregunta P₆ de cálculo de la velocidad mínima del SR).

El análisis de datos mencionado se ha realizado introduciendo las matrices con las calificaciones de los alumnos en los ejercicios en distintas hojas de cálculo MS Excel. Para

llevar a cabo una correcta comparativa de ejercicios individuales, todas calificaciones se han normalizado a 10.

4. RESULTADOS

Como se ha comentado en la sección anterior, después de visualizar cada uno de los vídeos del tema de CSR, los alumnos debían responder un breve cuestionario. Pese a que se tenía en cuenta para la evaluación continua, la mayoría de los alumnos no realizaron todos los test con los que se evaluaba el aprendizaje del tema únicamente los hizo todos uno de los estudiantes). En total, hubo 25 alumnos (54% del total) que participaron en algún momento en la experiencia del aula invertida. No obstante, la media de participantes en la experiencia fue de unos 13 alumnos (28% del total), como se recoge en la Tabla 2, de lo que sólo uno era repetidor (que aprobó el examen). Al comparar las calificaciones de los alumnos y relacionarlas con la duración de los vídeos y el tiempo que se tenía para responder a los cuestionarios, podemos concluir que ninguno de estos dos últimos tienen influencia significativa.

Tabla 2: Número de alumnos (N) que responden a los cuestionarios usados para evaluar el aprendizaje alcanzado con el aula invertida tras la visualización de los vídeos V₁-V₉ durante el curso 2020/21, y calificaciones medias (μ) y desviaciones estándar (σ) obtenidas. El número entre paréntesis (N') indica el número de alumnos que hacen el test después de las 3 sesiones on-line con el profesor (repitiéndolo o haciéndolo por primera vez).

V	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉
N	20	15	15	16	10	5 (0)	19	10	9
(N')	(1)	(0)	(3)	(1)	(0)		(2)	(2)	(3)
μ	7,8	8,2	7,4	2,8	9,0	10,0	6,3	3,8	2,7
σ	1,8	2,0	4,0	3,6	2,1	0,0	2,7	2,9	2,2

En primer lugar, hay que destacar la alta dispersión que presentan los datos, que tiene, en general, una desviación típica con valor mayor o igual a 2,0. Esto se podría deber a la disparidad en la formación académica de los alumnos, por lo que las conclusiones que se detallan a continuación respecto a las calificaciones obtenidas por los alumnos en los cuestionarios de los vídeos deben tomarse con cierta cautela.

Como cabía esperar, los vídeos V₁ y V₂ han sido respondidos por un número considerable de alumnos obteniendo una nota media relativamente elevada (alrededor de 8,0 de media), debido a que trataban los conceptos más básicos y elementales de CSR. Los resultados son también bastante buenos para la composición de traslaciones (V₃), al tratarse de algo relativamente sencillo, pero son considerablemente peores en cuanto a la composición de rotaciones (V₄), ya que requiere un mayor nivel de abstracción. Sorprenden, por ello, los excelentes resultados obtenidos para el vídeo V₅, que se refiere al cálculo de la velocidad producida por un par de rotaciones.

De entre todos los vídeos, destacan, también, los excelentes resultados obtenidos para el vídeo V₆, en el que describe cómo calcular la velocidad de un punto de un SR en función de la de otro. Aunque el cuestionario correspondiente es el menos respondido (tan sólo lo completan 5 alumnos), todos ellos lo hacen sin errores. Por otro lado, sobresalen también las respuestas en el vídeo V₇. En este caso, los alumnos tenían que realizar una tarea asociada a la composición de traslaciones y rotaciones con una fuerte componente CTS relacionada, además, con cuestiones de interés de los alumnos, por lo que fue respondida por un gran número de ellos (21). Los resultados referidos a los dos últimos vídeos son bastante peores debido a que se referían a los dos conceptos más complejos del tema CSR: el cálculo de los invariantes (V₈) y del eje instantáneo de rotación y deslizamiento (V₉) de un SR.

Por último, hay que indicar que han sido pocos los alumnos que han realizado las actividades para subir nota, tanto la repetición de los cuestionarios, como los problemas extra propuestos. Estos últimos solo han sido entregados por tres alumnos, obteniendo unas calificaciones extremadamente bajas (de 0, 1 y 2 puntos sobre 10). Estos hechos parecen poner en tela de juicio la eficacia del proceso enseñanza-aprendizaje que, a juzgar por los resultados recogidos en la Tabla 2, invitaban en un principio al optimismo.

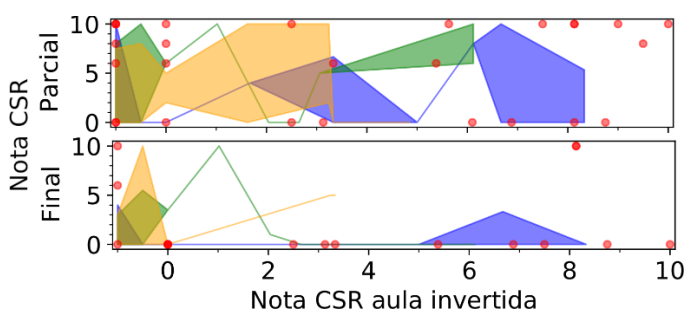


Figura 1: Calificación de los apartados del ejercicio de cinemática del sólido rígido en los exámenes parcial (arriba) y final (abajo) del curso 2020/2021 frente a la calificación obtenida en los cuestionarios de aula invertida asociados a dichos apartados (puntos rojos: nota en la pregunta P₁; áreas azul, naranja y verde: límites de las notas en las preguntas P₂, P₃+P₆ y P₄+ P₅).

Con el objetivo de analizar en más profundidad la efectividad del aula invertida en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en la Figura 1 mostramos las respuestas obtenidas en cada uno de los apartados del ejercicio de CSR de los exámenes parcial (arriba) y final (abajo) de este curso 2020/21 en función de las correspondientes calificaciones en los cuestionarios usados en el aula invertida. Para distinguir las respuestas asociadas a vídeos no visualizados de las de las respondidas de manera errónea, se ha decidido asignar calificaciones negativas a aquellos alumnos que no han respondido todos los cuestionarios y, por tanto, asumimos que tampoco han visualizado todos los vídeos. En particular, se ha calificado con -0,5 los cuestionarios puntualmente no respondidos y con -1 si los cuestionarios no se han respondido en general.

Hay que indicar que, al no coincidir exactamente los cuestionarios de los vídeos con las preguntas del examen, que en general eran más complejas al involucrar varios conceptos, ha sido necesario usar la relación contenida en la Tabla 1. Debido a la alta dispersión que tienen los datos, para visualizar e interpretar mejor los resultados, hemos decidido presentar una sola serie de datos con puntos y mostrando los valores de las demás en áreas sombreadas que acotan la región en la que se encuentran. En el caso particular de la Figura 1, hemos representado las calificaciones para la pregunta P₁. Como se puede observar, los datos presentan una gran dispersión, debida, en buena medida, a la dispar formación de los estudiantes. Los datos no permiten afirmar que aquellos estudiantes con buenas calificaciones en la evaluación de aula invertida obtengan, en general, mejores notas en los apartados correspondientes en el examen. Además, hay que tener en cuenta que aproximadamente un 50% de los alumnos, no ha contestado a la mitad de los cuestionarios de los vídeos, por lo tanto, no se puede establecer una relación con los resultados del examen. No obstante, los datos demuestran que, en general, los estudiantes que sacan buenas calificaciones en la evaluación del aula invertida lo hacen también en el apartado correspondientes del ejercicio del examen.

Para establecer qué importancia tienen los distintos apartados del ejercicio de CSR sobre la calificación global del mismo, en la Figura 2 mostramos esta última en función de las calificaciones obtenidas en los distintos apartados P₁-P₆ para los exámenes parcial (arriba) y final (abajo). De nuevo, se puede apreciar una gran dispersión en los datos. Por ello, para determinar cómo contribuyen los distintos apartados a la nota del ejercicio, presentamos en la Tabla 3 el coeficiente de correlación de Pearson que, como se puede observar, es en todos los casos positivo y relativamente elevado, lo que demuestra la importancia de todos ellos en la calificación global del ejercicio CSR.

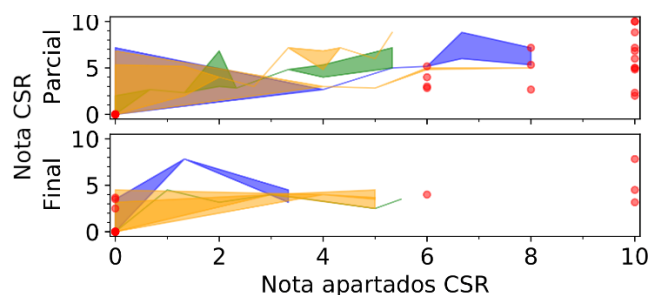


Figura 2: Calificación global del ejercicio de cinemática del sólido rígido en los exámenes parcial (arriba) y final (abajo) del curso 2020/21 frente a la calificación global obtenida en cada uno de sus apartados (puntos rojos: nota en la pregunta P₁; áreas azul, naranja y verde: límites de las notas en las preguntas P₂, P₃+P₆ y P₄+ P₅).

Vista la influencia de los diferentes apartados, vamos a estudiar los resultados obtenidos por aquellos alumnos que han seguido aula invertida y los que no y así ver si hay una influencia real en la mejora del rendimiento académico. En el

examen parcial, la media obtenida por los alumnos que llevaron a cabo aula invertida fue de 3,94 y la de aquellos que no visionaron los videos fue de 2,76. Tras la realización de las pruebas estadísticas correspondientes (Test F y Test T), se obtiene que no existen diferencias significativas entre las medias, por lo que, aunque la nota sea considerablemente más alta, no se puede afirmar que el empleo de aula invertida suponga una mejora en la nota del ejercicio en cuestión.

Tabla 3: Coeficiente de correlación de Pearson entre la nota de los apartados P₁-P_{5/6} y la nota los exámenes parcial y final de los cursos 2020/21 y 2019/20.

P	2020/21		2019/20	
	Parcial	Final	Parcial	Final
P ₁	0,8865	0,7982	0,7171	0,7130
P ₂	0,8251	0,6220	0,8043	0,7268
P ₃	0,9225	0,7989	0,8482	0,8357
P ₄	0,7218	0,6334	0,8553	0,8316
P ₅	0,8758	0,8316	0,7330	0,6627
P ₆	0,8359	0,8465	-	-

En lo que respecta al examen final, de nuevo las diferencias entre las medias obtenidas (1,47 vs 2,39) no presentan *a priori* diferencias estadísticamente significativas. No obstante, en este caso, hay que tener en cuenta también que el número de alumnos que se presentan al examen y que no han llevado a cabo aula invertida es únicamente de 3 (frente a los 15 que sí la usaron).

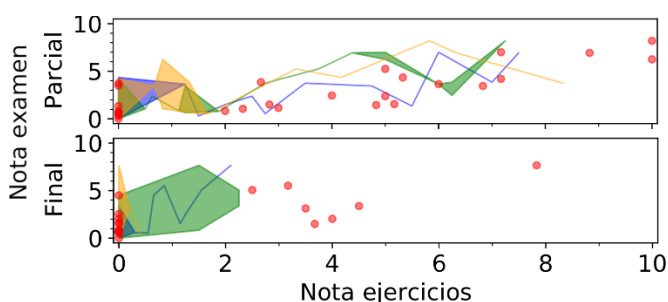


Figura 3: Calificación global de los exámenes parcial (arriba) y final (abajo) del curso 2020/21 frente a la calificación obtenida en cada uno de los ejercicios de dichos exámenes (puntos rojos: nota en cinemática del sólido Rígido; áreas azul, verde y naranja: límites de las notas en las preguntas de cinemática del punto 1, cinemática del punto 2 y movimiento relativo).

Para concluir la discusión sobre los resultados del aula invertida, en la Figura 3 mostramos la calificación global de los exámenes parcial (arriba) y final (abajo) del curso 2020/21 en función de las obtenidas en los 4 ejercicios que formaban la primera parte del temario (dos de cinemática del punto, el de CSR y otro de movimiento relativo). De nuevo, los datos presentan una dispersión considerable. No obstante, se observa en todos ellos la misma tendencia: en general los alumnos que

sacan mejores calificaciones en cada uno de los ejercicios obtienen mejor calificación global en el examen. La nota media en el ejercicio de CSR es la más alta de todos (3,6 puntos en el parcial y 1,6 puntos en el final, frente a 3,1 y 1,0 puntos sacados en el siguiente ejercicio con más puntuación, respectivamente). Esta mayor nota media se puede afirmar también, observando que hay más puntos por debajo de la línea $y=x$ para el ejercicio de CSR que para el resto. Sin embargo, esta diferencia no es estadísticamente significativa, debido al gran valor que toma la desviación estándar. Por otro lado, el ejercicio de CSR es el más correlacionado con la nota global de los exámenes (el parámetro de regresión es $R^2 = 0,64$ y $0,51$ en los exámenes parcial y final, frente a $R^2 \approx 0,52$ y $0,27$ para los de cinemática del punto, respectivamente). En general, el parámetro de regresión es superior en los ejercicios del examen parcial que para los del final, debido a que éste último tenía más ejercicios relacionados con otras partes del temario. Las menores calificaciones en el examen final frente al parcial se pueden explicar debido a que los ejercicios de este último examen únicamente los tenían que realizar los alumnos que no habían aprobado el parcial.

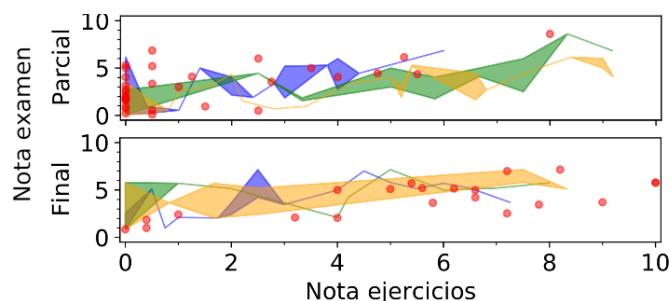


Figura 4: Calificación global de los exámenes parcial (arriba) y final (abajo) del curso 2019/20 frente a la calificación obtenida en cada uno de los ejercicios de dichos exámenes (puntos rojos: nota en cinemática del sólido rígido; áreas azul, verde y naranja: límites de las notas en las preguntas de cinemática del punto, dinámica del punto y movimiento relativo).

Por último, con el objetivo de contextualizar el tema de CSR, mostramos en la Figura 4 las calificaciones de los exámenes parcial (arriba) y final (abajo) del pasado curso 2019/20. En este caso, los exámenes constaban, también, de cuatro ejercicios, pero en lugar de tener dos de cinemática del punto tenían uno de este tema y otro de dinámica del punto. Al igual que en el curso 2020/21, la calificación media obtenida en el curso 2019/20 en el ejercicio de CSR es mayor que en el resto de los ejercicios (3,5 en el parcial y 5,4 en el final frente a los 1,9 y 2,7 puntos obtenidos, respectivamente, en el movimiento relativo, que ha sido el segundo con mayor nota). Sin embargo, como en el caso anterior, estos resultados deben tomarse con cautela dada la elevada dispersión que tienen (superior a 2,0). Por último, el parámetro de regresión toma en el ejercicio de CSR valores similares a los de este curso ($R^2 = 0,57$ y $0,52$), y es mayor al del resto de los ejercicios en todos los casos salvo en el del ejercicio de movimiento relativo del examen parcial ($R^2 = 0,65$). La elevada dispersión estadística de los resultados hace imposible concluir de forma precisa cuál ha sido el impacto del aula invertida en el proceso de enseñanza-

aprendizaje, pero los resultados obtenidos demuestran que su impacto ha sido moderado y no especialmente significativo. Hay que tener en cuenta, además, que la docencia durante el curso 2020/2021 ha sido on-line (salvo las dos sesiones presenciales de prácticas de laboratorio) lo cual influye mucho en el buen funcionamiento y el aprovechamiento de las sesiones de aula llevadas a cabo tras el visionado de los vídeos.

En lo que respecta a la satisfacción de la experiencia por parte de los alumnos, se ha observado que los alumnos valoran positivamente el aula invertida (calificación media de 6,2) y el aprovechamiento de las sesiones posteriores a la visualización de los vídeos (calificación media de 6,4). Este último resultado está en concordancia con las respuestas respecto a su preferencia por enseñanza más tradicional. El promedio de horas invertidas en el aula invertida ha sido de 5h y sólo el 27% de los alumnos considera que invierte más tiempo usando esta metodología. En cuanto al material, todos han usado ordenador para la visualización de los vídeos y el 73% de ellos han visionado los vídeos más de una vez. Sólo 3 de los 11 alumnos encuestados han recurrido a otros recursos para comprender los contenidos. En general, en las opiniones mostradas los alumnos echan de menos resolver sus dudas de manera inmediata, pero valoran positivamente poder ver los vídeos más de una vez.

En un marco más amplio, se ha observado un considerable deterioro de las tasas globales de la asignatura, probablemente debido al extraño entorno en el que se ha llevado la docencia este curso 2020/21. Así, tanto la tasa de rendimiento como la de éxito se han reducido en casi un 50%, (han pasado de un 32,1% y un 56,7% el curso 2019/20 a tan sólo un 15,9% y 32,1% este curso 2020/21). La tasa de absentismo también se ha deteriorado, aunque de forma más moderada al pasar de un 43,4% el curso pasado a un 50,0% éste.

Hay que indicar que el resto de las asignaturas impartidas durante el mismo periodo han presentado un comportamiento similar.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos presentado una experiencia docente on-line con estudiantes universitarios de Física I (primer curso del Grado en Ingeniería Agroambiental de la Universidad Politécnica de Madrid) basada en la aplicación del aula invertida para el estudio de cinemática de sólido rígido. En vista a los resultados mostrados, no se puede afirmar que el empleo de aula invertida tenga un efecto positivo en el rendimiento académico del grupo de estudiantes estudiado, en contra de lo esperado por estudios previos en la literatura. Este hecho se puede atribuir a las especiales circunstancias en las que se ha llevado a cabo la docencia por la situación ocasionada por la pandemia de COVID-19 durante este curso 2020/2021 (docencia on-line, poco contacto entre los alumnos, etc.). No obstante, se ha observado que los alumnos valoran positivamente el uso de esta metodología, especialmente por el mejor aprovechamiento de las sesiones de clase, aunque sienten preferencia por la docencia más tradicional.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha estado financiado por el Proyecto de Innovación Educativa IE1819.1201 de la Universidad Politécnica de Madrid.

REFERENCIAS

- Aguilera-Ruiz, C., Manzano-León, A., Martínez-Moreno, I., del Carmen Lozano-Segura, M., Yanicelli, C. C. (2017). El modelo flipped classroom. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 4(1), 261-266.
- Bergmann, J., Sams, A. (2012). Flip your classroom. reach every student in every class every day. *International Society for Technology in Education (ISTE)*.
- Fidalgo-Blanco, Á., Martínez-Nuñez, M., Borrás-Gene, O., Sanchez-Medina, J.J. (2017). Micro flip teaching – An innovative model to promote the active involvement of students. *Computers in Human Behavior*, 72, 713-723.
- Fidalgo-Blanco, Á., Sein-Echaluce, M., García-Peñalvo, F. (2019). Impact indicators of educational innovations based on active methodologies. Artículo presentado en *TEEM'19 Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, León, España, 763-769.
- Cifuentes-Faura, J. (2020). Docencia online y covid-19: La necesidad de reinventarse. *Revista De Estilos De Aprendizaje*, 13(Especial), 115-127.
- Cuevas-Monzonís, N., Gabarda-Méndez, V., Cívico-Ariza, A., y Colomo-Magaña, E. (2021). Flipped Classroom en tiempos de COVID-19: una perspectiva transversal. *International Journal of Educational Research and Innovation (IJERI)*, 15, 326-341.
- Murillo, P. (2007). Nuevas formas de trabajar en la clase: Metodologías activas y colaborativas. *El desarrollo de competencias docentes en la formación del profesorado* (pp. 129-154). Madrid, España: Instituto Superior de Formación del Profesorado.
- Santiago, R. (2019). Conectando el modelo Flipped Learning y la teoría de las Inteligencias Múltiples a la luz de la taxonomía de Bloom. *Magister*, 31(2), 45-54.
- Torres-Belma, A. (2020). Los procesos de enseñanza-aprendizaje en el contexto de pandemia: reconfiguración de la relación docente-estudiante en la educación superior. *Tierra Nueva*, 17(17), 46-52.

The flipped classroom for Physics teaching

El aula invertida para la docencia de Física

Patricia Ruiz-Galende^{1,2}, Mónica Montoya³, Iciar Pablo-Lerchundi¹, Patricia Almendros³, Fabio Revuelta²
patricia.ruiz@alumnos.upm.es, monica.montoya@upm.es, iciar.depablo@upm.es, p.almendros@upm.es, fabio.revuelta@upm.es

¹Grupo de Investigación ForPROFE y Grupo de Innovación Educativa Didáctica de la Química, Instituto de Ciencias de la Educación.

²Grupo de Innovación Educativa Física Interactiva y Grupo de Sistemas Complejos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas

³Grupo de Innovación Educativa Química y Análisis Agrícola, Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas

Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, España

Resumen- En este trabajo presentamos una experiencia docente on-line con estudiantes universitarios de primer curso basada en la aplicación del aula invertida para el estudio de cinemática de sólido rígido. Los resultados del estudio no demuestran diferencias significativas con respecto a otros temas tratados ni con respecto al mismo tema en el curso anterior, en el que la docencia no fue virtual sino presencial.

Palabras clave: *aula invertida, metodologías activas, Física, sólido rígido*

Abstract- In this work, we present an on-line educational experience with first-year university students. Flipped classroom was used to study kinematics of rigid solid. Our results show no statistical differences when compared with other parts of the Physics module nor with the results obtained last year, when the educational process was not virtual but face-to-face.

Keywords: *flipped classroom, active methodologies, rigid solid, Physics*

1. INTRODUCTION

COVID-19 pandemic has certainly introduced a dramatic change in our teaching practices, as both students and teachers were forced to interact in a new on-line environment. At first glance, this changing scenario may look as adequate to facilitate an interactive atmosphere for the students. Nevertheless, the circumstances where it took place, the necessity of a quick implementation as well as the lack of previous experiences for most of the participants have rendered, in general, worse results (Dhawan, 2020). In this sense, active methodologies are remarkable for virtual teaching as they involve students more actively, even in this complex time we are living.

According to Bloom's taxonomy, active methodologies incorporate higher cognitive abilities (Santiago, 2019). However, sometimes their implementation is very difficult, due to the lack of experience (as mentioned before), the preference

for traditional teaching, and the complications implicit in the new practice, such as the role played by the teacher and the required commitment of the students (Fidalgo-Blanco et al., 2019; Torres-Belma, 2020). All in all, a great effort must be made in order to improve traditional teaching which, up to a certain point, favours passive attitudes in the students, who tend to learn memoristically. Instead one should benefit from on-line practices to incorporate active methodologies, which allow learning by discovery, constructivism, and a deeper and more significative learning in general (Konopka, 2015; Torres-Belma, 2020).

The flipped classroom is a prominent active-learning example (Fidalgo-Blanco et al., 2019) as it improves students' engagement and facilitates on-line teaching. This methodology was popularized by Jonathan Bergmann and Aaron Sams, who used it to reduce the high absenteeism rates present in Woodland-Park High School (Colorado, EE. UU.). The flipped classroom consists in performing the activities that are traditionally conducted in the classroom outside it (especially through video-lessons), and use the classroom time to clarify doubts and solve practical exercises.

Therefore, the flipped classroom has been implemented as a reaction to the COVID-19 pandemic, mainly due to its easy implementation for the students in our current context. Let us list, among others, the following advantages (Tang et al., 2020):

- Temporal and spatial flexibility. The videos provided can be visualized by the student anywhere at any time, as many times as necessary, this enabling asynchronous teaching.
- Learning depends mostly on the student. As a consequence, he/she becomes a more active agent, which induces a deeper and more significative learning (Fidalgo-Blanco et al., 2017).

- The classroom time is much more effective. Here, the role of the teacher is transformed into that of a mediator who supports and guides the students.

In this work, we describe the implementation of the flipped classroom in the teaching-learning process of kinematics of the rigid solid (KRS). It is part of the Physics I module of the Degree in Agroenvironmental Engineering of the Universidad Politécnica de Madrid. For this purpose, we first describe the context within which the experience has been conducted. Next, in section 3, we briefly introduce the implemented methodology. Section 4 is devoted to the main results of our work. Finally, we sum up the article by summarizing the main conclusions.

2. CONTEXT

In March 2020, the COVID-19 pandemic made traditional on-site teaching unavailable, extending this situation over the 2019-20 academic term. Consequently, the pre-pandemic face-to-face teaching has been only partially re-established over the 2020-21 academic term. Our institution made the decision that undergraduate teaching should be solely on-line conducted. As a result, teaching had to be adapted to this new reality. Thus, we decided to implement the flipped classroom in the teaching-learning process of the KRS unit of the Physics I module of the Degree of Agroenvironmental Engineering, which had the following contents:

1. Vector Calculus
2. Kinematics of the point
3. Kinematics of the rigid solid (KRS)
4. Relative motion
5. Statics (equilibrium, center of mass, and inertia moments)
6. System dynamics

In order to assess the correct application of our innovative experience, in particular, and a proper on-line teaching, in general, students were asked at the beginning of the term whether they had adequate devices to follow the virtual lessons. All participants had them, except one student, who was given a laptop, so he could properly follow the lessons, having then less difficulties than using only his smart phone and tablet, as he previously used to do).

3. DESCRIPTION

A series of 10 short videos was created for the implementation of the flipped classroom on the KRS teaching-learning process. Each video had a duration of less than 5 min, as shown in Table 1. The access to the videos was enabled through Moodle platform. Students had to visualize the videos over two weeks (while the topics of relative motion and point dynamics were studied in the on-line classrooms). In the first video (V_0), a brief explanation of the flipped classroom was

provided. The remaining videos were devoted to a particular concept of KRS, as listed in Table 1.

Table 1: Contents of the videos V_1 - V_9 used for the flipped classroom, along with their duration (t_d), limit time to answer the questionnaire (t_c), and relation to the exercise associated with the kinematics of the rigid solid of the partial and final exams of the academic terms 2020-21 (Q_1 - Q_6) and 2019-20 (Q_1 - Q_5).

V	t_d	t_c	Content	Q
V_0	2' 4''	-	-	-
V_1	3' 5''	30'	What is it?	-
V_2	4' 9''	30'	How can it move? (translation and rotation)	Q ₁
V_3	3' 17''	20'	How are traslations composed?	
V_4	3' 20''	3' 5''	How are rotations composed?	
V_5	4' 6''	30'	How is a pair of rotations composed?	
V_6	1' 19''	-	How are traslations and rotations composed?	Q ₂
V_7	3' 31''	-	How is the velocity of a point related to the velocity of another one?	
V_8	4' 11''	60'	What are the invariants?	Q ₃ (& Q ₆)
V_9	4' 14''	-	How is the instantaneous axis of rotation calculated?	Q ₄ & Q ₅

In order to improve the motivation of our students towards Science-Technology-Society relations, in the exercise associated with the V_6 video, the students were asked to visualize two videos with people doing skate and parkour. Subsequently, they were asked to draw the translation and rotation velocities at two particular time instants.

In the 2020-21 academic term, 46 students were enrolled in the Physics I module, being 38 of them freshmen. The assessment was conducted as follows. After visualization of each video, students were asked to fill out a brief questionnaire in Moodle, which could be time-limited or not (see Table 1). In order to assure a correct teaching-learning process, once the visualization period was finished, an on-line session of 1 hour was devoted to the most abstract concepts. In this session, the teacher clarified, through a master class, the most complex concepts, such as "what is a pair of rotations" or "what is the instantaneous axis of rotation". Let us remark that this last concept requires quite a long explanation, in contrast to the brief (and usually simple) explanations presented in the remaining videos previously visualized at home. Furthermore, once all the videos had been visualized, two sessions of 1h 15min long were organized, where, first, the teacher and, second, the students solved the most complicated problems associated with the KRS unit. These problems were similar to those appearing in the exams, which combined several of the concepts introduced in the video lessons and were evaluated through specific

questionnaires. The teacher was always accessible to solve the students' doubts both during the previous lessons, as well as over the duration of the whole experience, which lasted three weeks. Moreover, the most motivated students had the chance to get extra points by solving two optional exercises (like those discussed in the last two sessions with the teacher). Last, after the three on-line sessions with the teacher, students were given one week of additional time to repeat those tests where they had been less successful (after letting them know their marks) or do the questionnaires for the first time, in case they had not filled them out at the proper time. This way, we could assure that the assessment was performed once all the students had had a chance to solve their doubts and questions. Likewise, they could also correct the errors when answering some of the questionnaires. Finally, in order to examine their opinions, students were asked to complete a satisfaction survey formed by 15 questions about the methodology, the required time, the materials, and possible improvements of the experience.

The performance of the experience has been accomplished using two sets of reference results. On the one hand, we have compared the marks obtained in the flipped-classroom questionnaires associated with the KRS unit with each of the exercises related to units 1-4 of the partial (celebrated in November 2020) and final (February 2021) exams of the 2020-21 academic term. The partial exam had eliminatory character, and, consequently, those students who passed it (with a mark larger or equal to 5.0 out of 10 points) did not have to be re-examined of those units in the final exam. Table 1 lists the relation between the different questions Q_1 - Q_6 of the exam exercise on KRS and the flipped-classroom videos V_1 - V_9 . The marks on the units 5 and 6 have not been considered since they are solely evaluated in the final assessment. The comparison between the previous results allows to determine the performance of the flipped classroom compared to the rest of the units, which were also on-line but still *more* traditional, as they were based on a combination of master classes, practical solving, laboratory practices, etc.

On the other hand, to identify possible deviations due to the peculiar current situation (on-line teaching, little interpersonal contact among students, possible anxiety and stress situations, etc.), the marks of the 2019-20 academic term have been similarly revised. This kind of comparison permits the contextualization of the teaching-learning process of the KSR unit compared to the remaining ones, with no on-line underlying effects. Let us note that in that academic term, the exam exercise on KRS had one question less than this year, and, therefore, it was formed by 5 questions (lacking question Q_6 on minimum velocity, which appeared in 2020-21).

The data analysis has been performed by introducing the matrices with the students' marks in a MS Excel sheet. For a proper comparison of the individual exercises, all marks have been normalized to 10 points.

4. RESULTS

As previously mentioned, after visualizing of each of the KRS videos, the students had to answer a brief questionnaire. Even though the mark obtained was taken into account for the

continuous assessment, most of the students did not fill out all the questionnaires. Actually, only one of the students answered all of them. Furthermore, 25 students (54% of the total) participated at least once in the flipped-classroom experience. Nevertheless, the average number of participants was around 13 (28% of the total), being one of them a repeating student, as listed in Table 2. When comparing the marks achieved by the students with the duration of the videos as well as the answering time of the questionnaires, we conclude that these two variables have a negligible influence on the performance of the students.

Table 2: Number of students (N) that fill out the questionnaires for the assessment of the teaching-learning process using the flipped classroom after the visualization of the videos V_1 - V_9 during the 2020-21 academic term, and average marks (μ) and standard deviations (σ) obtained. The number in parenthesis (N') indicates the number of students that answered the questionnaire after the 3 on-line sessions with the teacher (repeating it or filling it out for the first time).

V	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉
N	20	15	15	16	10	5 (0)	19	10	9
(N')	(1)	(0)	(3)	(1)	(0)		(2)	(2)	(3)
μ	7.8	8.2	7.4	2.8	9.0	10.0	6.3	3.8	2.7
σ	1.8	2.0	4.0	3.6	2.1	0.0	2.7	2.9	2.2

First, the large dispersion in the data, which, in general, exceeds 2.0, is noted. This value could be explained by the high disparity in the students' background. Thus, the following conclusions of our work must be considered with some care.

As expected, videos V_1 and V_2 were answered by a higher number of students, probably because they involved rather easy and elementary concepts on KRS. The performance of the students has been similarly good on the composition of translations (V_3) since this problem is also quite simple. Contrary, the results have been certainly worse on the composition of rotations (V_4), as this requires a higher abstraction degree. For that reason, the excellent performance in video V_5 is surprising, which is related to the velocity caused by a pair of rotations.

On the one hand, let us remark the superb results obtained in video V_6 , among all videos, where the velocity of a rigid-solid point is computed as a function of the velocity of another point. This question is answered error-free by all students. Nonetheless, it is the least answered question as it is completed by only 5 students. On the other hand, notice the answers associated with video V_7 . In this case, the students were asked to perform a task of the composition of translations and rotations with a Science-Technology-Society dimension. This question was the most answered (21 students), probably due to its connection to students' interests. Summing up, the performance in the questions related to the last two videos was substantially worse since they involved more complex concepts on KRS, namely the calculation of the invariants (V_8) and the computation of the instantaneous axis of rotation (V_9).

Finally, a low number of students has performed the optional activities to get a higher mark, such as repeating some of the questionnaires or solving two extra problems. Actually, only three students have solved these problems, getting in all cases an extremely low qualification (0, 1, and 2 points out of 10, respectively). This fact questions the good performance of the teaching-learning process that was at first glance expected from the inspection of the encouraging results shown in Table 2.

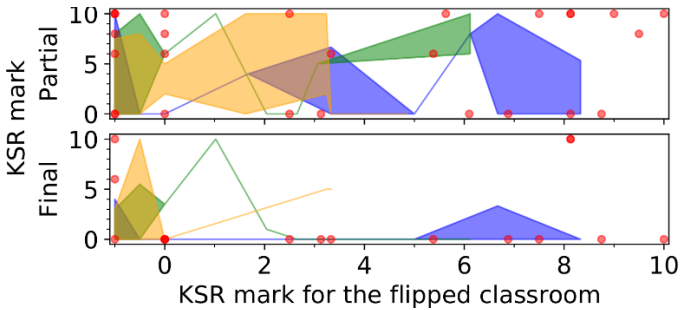


Figure 1: Mark for the questions of the exercise associated with kinematics of the rigid solid for the partial (top) and final (bottom) exams of the 2020-21 academic term as a function of the mark obtained in the flipped-classroom questionnaires associated with those questions (red points: individual marks for the answers associated with question Q_1 ; blue, orange, and green shaded areas: limits for the marks corresponding to questions Q_2 , Q_3+Q_6 , and Q_4+Q_5).

In order to analyse in more detail the performance of the flipped classroom, we show in Figure 1 the marks for the KRS exercise for the partial (top) and final (bottom) exams for the 2020-21 academic term as a function of the average mark of the flipped-classroom questionnaires. In order to distinguish the answers associated with non-visualized videos from those which have been wrongly filled out, we have assigned negative points to the students who have not answered all the questionnaires, assuming that the corresponding videos have not been visualized. In particular, we have marked with -0.5 (-1.0) points those questionnaires which are partially (completely) unanswered.

As the contents of the questionnaires were not exactly the same ones as those included in the exams, which were in general more difficult due to the combination of several concepts, the relations reported in Table 1 must be established. Likewise, for a better visualization, only the results associated with question Q_1 have been presented in Figure 1 because of the large data dispersion and the considerable number of points. The limits of the remaining results are shown as shaded areas. As can be seen, the data have a remarkable dispersion, up to a certain point due to the different academic background of the students. From inspection of the results, it cannot be concluded that a better performance in the flipped classroom implies better results in the exams. Taking into account that barely 50% of the students filled part of the flipped-classroom questionnaires out, no unambiguous connection between the results in the flipped classroom and in the exams can be established. Still, our data show that, in general, those students who have a better performance in the flipped classroom do also get more points in

the exams. In order to study the significance of the different questions forming the KRS exercise of the exams on their marks in this exercise, we present in Figure 2 the total number of points in the partial (top) and final (bottom) exams as a function of the marks obtained in the previous questions. Notice, once again, the significant dispersion in the data. Thus, we introduce in Table 3 the value of Pearson's correlation coefficient to find out the importance of each question on the global marks. As can be observed, this parameter is positive in all cases and rather large, which demonstrates the significance of all questions on the qualifications of the KRS exercise.

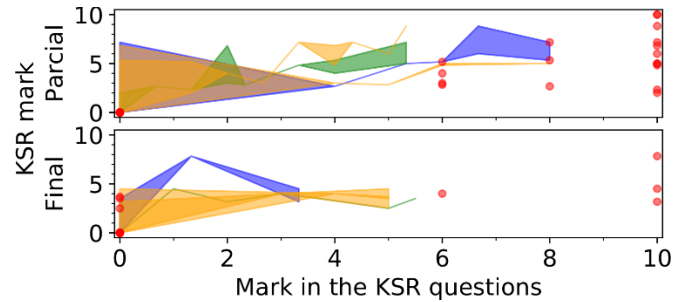


Figure 2: Average mark for the exercise of kinematics of the rigid solid for the partial (top) and final (bottom) exams for the 2020-21 academic term as a function of the mark obtained in each of its questions (red points: mark for question Q_1 ; blue, orange, and green shaded areas: limits for the marks for the questions Q_2 , Q_3+Q_6 , and Q_4+Q_5).

Once the individual influence of the different KRS questions was analysed, we compared the performance of those students who took part in the flipped-classroom experience with those who did not. This comparison enables to establish the real influence of the flipped classroom on the students' achievements. The average mark on the partial exam by the flipped-classroom students was 3.94, while those who were not involved in the experience got on average 2.76 out of 10 points. This remarkable difference is, nevertheless, not significant, as concluded after performing the statistical tests (F- and T-tests). Therefore, the effectiveness of the flipped classroom cannot be assessed.

Table 3: Pearson-correlation coefficient between the mark on questions $Q_1-Q_{5/6}$ and the global mark on the partial and final exams for the 2020-21 and 2019-20 academic terms.

Q	2020-21		2019-20	
	Partial	Final	Partial	Final
Q_1	0.8865	0.7982	0.7171	0.7130
Q_2	0.8251	0.6220	0.8043	0.7268
Q_3	0.9225	0.7989	0.8482	0.8357
Q_4	0.7218	0.6334	0.8553	0.8316
Q_5	0.8758	0.8316	0.7330	0.6627
Q_6	0.8359	0.8465	-	-

Similar conclusions can be inferred from the final-exam analysis. When comparing students who participated in the flipped classroom with those who did not, the average mark is similarly quite different (1.47 vs 2.39 out of 10 points) but no significant differences are found. However, let us point out that in this case only 3 students did not experience the flipped classroom (vs 15 who did).

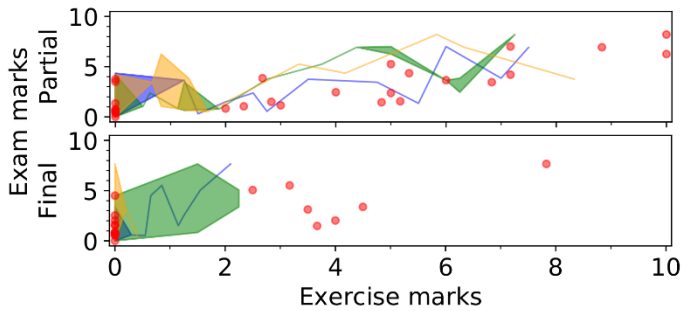


Figure 3: Average mark for the partial (top) and final (bottom) exams for the 2020-21 academic term as a function of the mark obtained in each of the exercises of those exams (red points: mark for the kinematics-of-the-rigid-solid exercise; blue, green, and orange shaded areas: limits for the marks for the questions associated with kinematics of the point 1, kinematics of the point 2, and relative motion).

We conclude the discussion on the flipped classroom by presenting Figure 3, where the marks for the partial (top) and final (bottom) exams in the 2020-21 academic term as a function of the marks on the 4 exercises that constituted the first part of the course (two of point kinematics, one of KRS and one of relative motion) are represented. As previously discussed, the data have a large dispersion. Notice that, in general, the global mark increases with the individual mark on the exercises. Among all exercises, the KRS is the one with the largest average qualification (3.6 points in the partial exam, and 1.6 out of 10 points in the final exam vs 3.1 and 1.0 points, respectively, in the exercise with the second highest mark). This better performance can be also assessed by visual inspection of the KRS results, as there are more points under the $y=x$ line than above it. Nonetheless, the statistical difference is not significant due to the large standard deviation. The KRS exercise is the one that is more strongly correlated with the global exam mark (the regression parameters equal $R^2 = 0.64$ and 0.51 , in the partial and final exams, respectively, in contrast to $R^2 \approx 0.52$ and 0.27 for the point kinematics results, respectively). Note that the regression parameter is overall larger in the partial than in the final exam as the latter is formed by more exercises, i.e., it also includes questions related to the other units of the module (see Section 2). The worse performance in the final exam compared with that in the partial exam can be explained because only those students who failed the latter assessment had to be (re-)evaluated of those topics in the final exam.

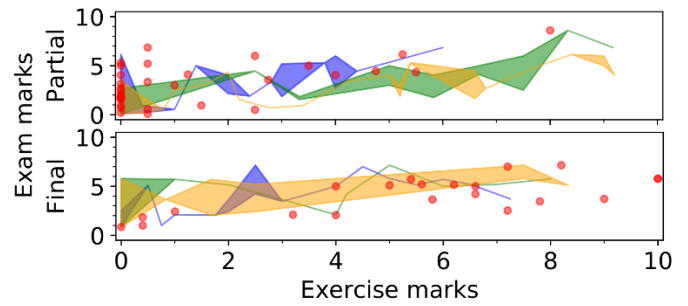


Figure 4: Average mark for the partial (top) and final (bottom) exams for the 2019-20 academic term as a function of the mark obtained in each of the exercises of those exams (red points: mark for the kinematics-of-the-rigid-solid exercise; blue, green, and orange shaded areas: limits for the marks for the questions associated with kinematics of the point, dynamics of the point, and relative motion).

Next, in order to contextualize the KRS unit in a broader landscape, we show in Figure 4 the marks for the partial (top) and final (bottom) exams in the previous academic term (2019-20) as a function of the marks obtained in the exercises. The exams were also formed by 4 exercises, but in this case two were associated with point kinematics, one with KRS, and one with point dynamics. As in the 2020-21 academic term, the average mark for the KRS exercise in 2019-20 was larger than for the rest of the exercises (3.5 and 5.4 in the partial and final exams, respectively, versus 1.9 and 2.7 for relative motion, which was the exercise with the second highest mark). Nevertheless, as in the previous discussion, these results must be taken with some care due to the high dispersion (larger than 2.0). To conclude, the regression parameter for KRS has similar values as those previously reported ($R^2 = 0.57$ and 0.52), and, once again, it is larger than for the rest of the exercises in all cases, except for the relative-motion exercise of the partial exam ($R^2 = 0.65$). All in all, the remarkable dispersion in the data hinder a conclusive statement on the impact of the flipped classroom in our teaching-learning process. Still, the results obtained seem to show that the influence of the flipped classroom has been rather modest. Furthermore, recall that over 2020-21 teaching has been on-line (except during two laboratory practices), which has a dramatic influence on the academic and environmental performance of the teaching classes after visualizing the videos.

Regarding the satisfaction with the flipped classroom, most of the students find the experience positive (average mark 6.2 out of 10 points). Moreover, they also acknowledged that the lessons with the teacher are more useful (average mark: 6.4). This last conclusion, inferred from the satisfaction survey, is yet in agreement with the students' preference for traditional teaching. On average, the students reported devoting 5 hours to the flipped classroom, a time that is found by 27% of them larger than that necessary for other methodologies. Regarding the connection devices, most students have visualized the videos using their own laptops. For a better understanding of the concepts presented in the videos, 73% of the students have seen them more than once, the other 27% needed to consult

other materials. In general, they missed the possibility of raising questions straightforward, but, in general, they also believe that the flipped-classroom experience has been adequate.

To conclude, let us remark that all general indicators of the course have declined, probably due to the odd pandemic environment that has surrounded the 2020-21 academic term. In fact, both the yield and the success rates have worsened over around 50% (reducing, respectively, from 32.1% and 56.7% in the 2019-20 academic term to 15.9% and 32.1%). Similarly, the absenteeism rate has also increased, although more moderately, from 43.3% to 50.0% over the same period.

Finally, let us remark that rates in the rest of the modules of the degree have experienced a similar behaviour.

5. CONCLUSIONS

In this paper, an on-line teaching experience with graduate students of Physics I (first-year course of the Degree in Agroenvironmental Engineering) has been reported. The work is based on the application of the flipped classroom to study the kinematics of a rigid solid. We cannot conclude that the flipped classroom has an unambiguous positive impact on the learning process, contrary to previous experiences reported in the Literature. This unexpected fact can be explained due to the peculiar circumstances within which the experience has been conducted due to COVID-19 pandemic (on-line teaching, few personal contact among the students, etc.). However, the students assess the methodology as positive, especially due to the better use of the teaching sessions, though they still prefer traditional (face-to-face) teaching.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by the Universidad Politécnica de Madrid under Contract of Innovative Education No. IE1819.1201.

REFERENCES

Aguilera-Ruiz, C., Manzano-León, A., Martínez-Moreno, I., del Carmen Lozano-Segura, M., Yanicelli, C. C. (2017). El modelo flipped classroom. *International Journal of*

Developmental and Educational Psychology, 4(1), 261-266.

Bergmann, J., Sams, A. (2012). Flip your classroom. reach every student in every class every day. *International Society for Technology in Education (ISTE)*.

Dhawan, S. (2020). Online Learning: A panacea in the time of COVID-19 crisis. *Journal of Educational Technology*, 49(1), 5-22.

Fidalgo-Blanco, Á., Martínez-Nuñez, M., Borrás-Gene, O., Sanchez-Medina, J.J. (2017). Micro flip teaching – An innovative model to promote the active involvement of students. *Computers in Human Behavior*, 72, 713-723.

Fidalgo-Blanco, Á., Sein-Echaluze, M., García-Peñalvo, F. (2019). Impact indicators of educational innovations based on active methodologies. *TEEM'19 Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, León, España, 763-769.

Konopka, C., Adaime, M., Mosele, P. (2015). Active Teaching and Learning Methodologies: Some Considerations. *Creative Education*, 6, 1536-1545.

Santiago, R. (2019). Conectando el modelo Flipped Learning y la teoría de las Inteligencias Múltiples a la luz de la taxonomía de Bloom. *Magister*, 31(2), 45-54.

Tang, T., Abuhmaid, A. M., Olaimat, M., Oudat, D., M., Aldhaeabi, M., Bamanger, E. (2020). Efficiency of Flipped Classroom with online-based teaching inder COVID-19. *Interactive Learning Environments*, ahead of print, 1-12.

Torres-Belma, A. (2020). Los procesos de enseñanza-aprendizaje en el contexto de pandemia: reconfiguración de la relación docente-estudiante en la educación superior. *Tierra Nueva*, 17(17), 46-52.