

Experimento docente sobre Dinámica I (Leyes de Newton): una propuesta de innovación teórico-práctica

Teaching experiment about Dynamics I (Newton's laws): a theoretical-practical innovative proposal

Física

M^a CARMEN LÓPEZ SANTOS

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8782-7331>

Universidad de Sevilla. Departamento de Física Aplicada I

mlopez13@us.es

Resumen. Se describe aquí una propuesta de ciclo de mejora en el aula para la asignatura de Física I de primer curso del Grado en Ingeniería Química Industrial de la Universidad de Sevilla, centrado en la docencia del tema de Dinámica I: Leyes de Newton. El trabajo en el diseño de contenidos, tareas metodológicas y herramientas de evaluación del nivel de aprendizaje alcanzado se ha inspirado en la aplicación del método científico-deductivo, basado en pautas de investigación docente. Para ello se ha intentado involucrar activamente al alumnado haciéndolo consciente de sus ideas previas y enfrentándolo a actividades de contraste antes y después de recibir información en el formato típico de lección magistral, cuya frecuencia se ha pretendido minimizar. Además, se han incorporado al ciclo de mejora las sesiones prácticas de laboratorio, que se integran temporalmente con las de teoría intentando coordinar y armonizar la metodología.

Palabras claves: Física I, grado en ingeniería química industrial, docencia universitaria, experimentación docente universitaria

Abstract. A proposal for a teaching improvement cycle is described here for the Physics I subject of the first course of the Degree in Industrial Chemical Engineering at the University of Seville, focused on the Dynamics I: Newton's laws subject. Work on the design of contents, methodological tasks and evaluation tools of the achieved learning level has been inspired by the application of the scientific-deductive method, based on teaching research guidelines. For this purpose, an attempt has been made to actively involve the students, making them aware of their previous ideas and confronting them with contrasting activities before and after receiving information in the typical lecture format, the frequency of which has been tried to minimize. In addition, practical laboratory sessions have been incorporated into the cycle, which are temporarily integrated with the theory ones trying to coordinate and harmonize the methodology.

Keywords: Physics I, degree in industrial chemical engineering, university teaching, university teaching experimentation

Introducción

Este ensayo de innovación docente se ha realizado en la asignatura de *Física I* para un grupo docente del Grado en Ingeniería Química Industrial de la Universidad de Sevilla. Se trata de una asignatura de primer curso y cuatrimestral, con 5 créditos teóricos para 8 temas y 1 crédito de prácticas para 5 sesiones de laboratorio. La evaluación de convocatoria está consensuada con los otros grupos docentes mediante la realización de exámenes escritos y la redacción de informes técnicos. Se cuenta con 72 alumnos matriculados, siendo el 70% es de nuevo ingreso. Se debe hacer notar que la mayoría de ellos no trae formación en las materias de física y matemáticas desde su especialidad propia de

bachillerato. Además, la docencia recupera la presencialidad después de los confinamientos por COVID, con las pertinentes medidas de seguridad, como la obligatoriedad del uso de la mascarilla quirúrgica.

El Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) (Delord, Hamed y otros) se ha aplicado durante 4 sesiones de 60 min de clases teóricas en un aula con tarima para el profesor y bancos continuos distribuidos en gradas y 2 sesiones de 120 min de prácticas en un laboratorio equipado con 5 bancos de dos puestos cada uno más otro banco con 5 puestos con equipamiento informático. La capacidad del laboratorio se restringe a subgrupos de 10 alumnos, mientras que la presencialidad en las clases teóricas suele ser alrededor de unos 40 alumnos. La secuencia temporal ha consistido en una primera sesión de prácticas, seguida de 3 sesiones de teoría, una segunda sesión de prácticas y una última sesión teórica.

Diseño previo del CIMA

Dado que por la propia naturaleza de esta asignatura, los contenidos se trabajan recurriendo a multitud y muy variados problemas fundamentados en situaciones cotidianas, fenómenos que ocurren en el entorno o aplicaciones tecnológicas, el modelo metodológico comúnmente empleado para la docencia de Física General se basa en el formato clásico de docencia conocido como lección magistral, donde el alumno es un sujeto pasivo en clase e idealmente activo fuera de ella. Cuando la implicación del alumno es la adecuada, este método suele propiciar resultados razonables en el corto plazo en el que se es responsable del aprendizaje y de su evaluación (Bain, 2007). Contando con un proyecto docente consensuado con otros grupos, otras asignaturas y otros cursos de un grado tan aplicado como este, la metodología previa, con muchos rasgos comunes a otras anteriormente sometidas a ciclos de mejora (Álvarez, 2020; Martínez, 2018), ha consistido en el esquema de la Figura 1 a).

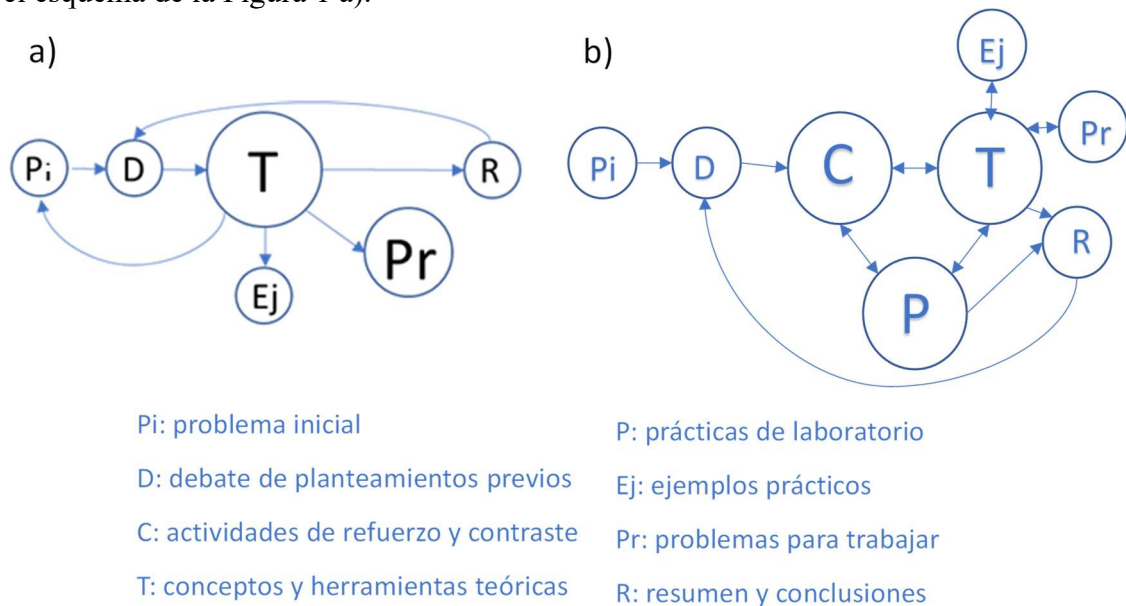


Figura 1. a) Modelo metodológico inicial y b) modelo metodológico propuesto para el CIMA

Con este sistema se perseguía una breve contextualización que despertara un mínimo de interés del alumnado para pasar al bloque de contenido teórico y resolución de problemas, recapitulando con una pequeña síntesis las ideas más importantes. No obstante, el alumnado se acomoda fácil y rápidamente a no realizar los trabajos programados y a que estos se resuelvan en común durante la clase, sin síntomas de retomarlos hasta el momento

del examen. Por otra parte, a los estudiantes les resulta complicado encontrar una correlación entre los contenidos teóricos y su aplicación en el laboratorio. La organización de las prácticas consta de dos seminarios sobre el buen hacer en un experimento físico y tres experiencias vinculadas a los contenidos. Sin embargo, la división en subgrupos hace que algunos tengan un desfase de un par de semanas cuando acuden al laboratorio, desde el momento en el que se trabajó el contenido teórico en clase, poniendo de manifiesto lo liviano y circunstancial de lo aprendido.

Mapa de contenidos y problemas claves

El intencionado diseño del CIMA plantea cuatro problemas globales recogidos en el mapa de contenidos de la Figura 2, que tienen que ver con *conocer el origen del movimiento o de su cambio, saber qué ocurre en la naturaleza que implique una acción, cuestionar si se puede predecir y formular matemáticamente el efecto de una fuerza y plantearse cómo medir una magnitud física: la fuerza que siente o ejerce un objeto o aquellas relacionadas con el movimiento del objeto*. En propuestas de CIMA anteriores (Martínez, 2018) para el mismo contenido conceptual, aunque aplicado a otro grado, se abordó como uno de los problemas centrales la metodología de resolución de problemas. En su lugar, la presente propuesta apuesta por la inclusión de las prácticas de laboratorio con los conceptos. Los contenidos relacionados con el primer problema abarcan el concepto de fuerza como causa de movimiento o deformación de los cuerpos y cómo se relacionan (con qué intensidad) a través de una propiedad de los cuerpos: la masa. Este primer problema se relaciona con los otros tres para describir los tipos de interacciones fundamentales en la naturaleza en función de la distancia de aplicación, la formulación matemática de las tres leyes de Newton y su rango de validez para predecir resultados en el contexto de sistemas de referencia inerciales, para acabar con la estimación de la validez de la cuantificación experimental de un fenómeno físico. Entre los vínculos de estos contenidos conceptuales se pretenden trabajar otros actitudinales como el manejo de información fiable, la curiosidad y la reflexión, así como otros de corte procedimental de aplicación directa en las sesiones de laboratorio que además arrastren pautas de organización, autonomía, trabajo en equipo y análisis crítico de los resultados.

Modelo metodológico posible

Con el objeto de involucrar activamente a los alumnos en el proceso de aprendizaje, el modelo metodológico se ha modificado (Figura 1 b) bajo la inspiración del método científico (Bain, 2007), para reforzar las actividades donde el alumno sea responsable, consciente o inconscientemente, de la construcción del conocimiento sobre la relación causa-efecto entre la fuerza y el movimiento. Para ello se han incluido *actividades de hipótesis, contraste y refuerzo de los fundamentos físicos teóricos (búsqueda de información) con puestas en común supervisadas por el docente*. La secuencia temporal supone sacrificar gran parte de la dedicación a explicaciones teóricas y, sobre todo, a la resolución de problemas en clase. El otro punto importante consiste en trasladar la misma metodología al desarrollo de las prácticas de laboratorio, incluyendo actividades exploratorias, debates y puestas en común. El problema inicial y el resumen final se han replanteado buscando que los alumnos sean más partícipes y (auto) críticos. Finalmente, se ha intentado innovar en clase y en el laboratorio experimentando con talleres conceptuales (Finkel, 2008), donde realmente el alumno investigue en equipo y aplique el método deductivo como herramienta de aprendizaje.

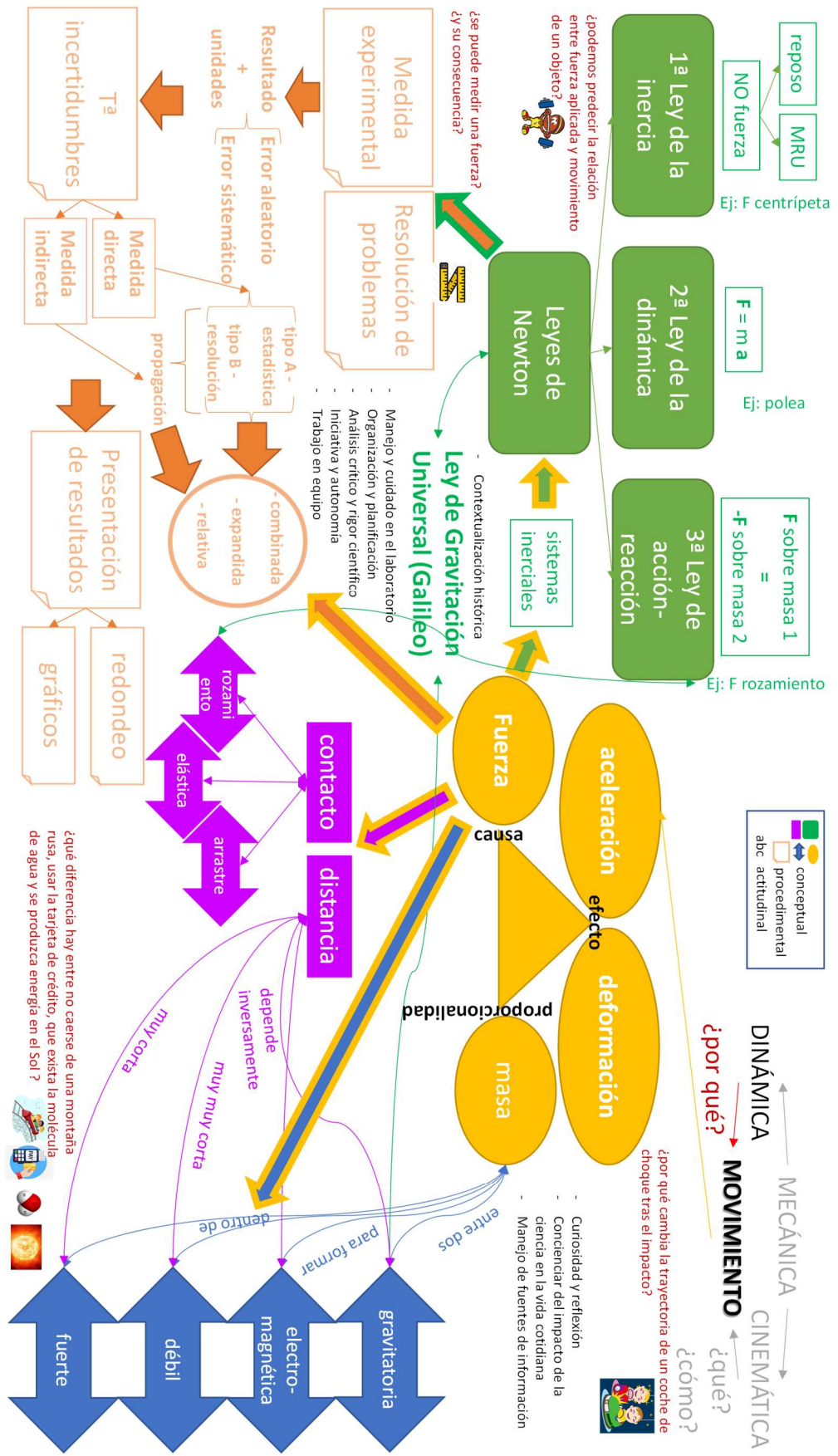


Figura 2. Mapa de contenidos

Secuencias de actividades

En la Tabla 1 se especifican las actividades planificadas para la aplicación del CIMA, detallando la fase del modelo metodológico posible, la duración y unas ideas básicas del desarrollo previsto. Como recursos generales necesarios se han tenido en cuenta la disponibilidad de pizarra, proyector, pantalla y pc, conexión a internet y papel.

Tabla 1. Secuencia de actividades

Actividad (duración-min.)	Fase metodológica	Desarrollo
Evaluación de ideas previas (10)	planteamiento del problema	cuestionario anónimo de ideas previas sobre los problemas clave: causa del cambio en el movimiento, fuerza y masa, leyes de Newton y la medida experimental
Caso particular (5)	planteamiento del problema	visualización del vídeo de dos coches en movimiento y posterior colisión
Debate en común (10)	hipótesis	debate dirigido con cuestiones del tipo: <i>¿qué se está observando? ¿cómo es este movimiento? ¿hasta cuándo? ¿por qué se para? ¿se podría volver a poner en marcha?</i> Y anotación de razonamientos previos
Explicación de fuerza (15)	búsqueda de información	definición de fuerza como magnitud física vectorial, relación con magnitudes cinemáticas; representación gráfica; ejemplos y nuevas cuestiones: <i>¿por qué algunos objetos aceleran con velocidades mayores que otros? ¿por qué no levita un plato colocado sobre una mesa?</i>
Caso particular (10)	actividad de contraste	visualización de un vídeo con cuatro experimentos sobre la aplicación de una fuerza y sus consecuencias
Debate en común (10)	hipótesis	debate dirigido con cuestiones: <i>¿qué tienen en común? ¿y cuáles son las diferencias?</i> Anotación de ideas
1ª Ley de Newton (15)	búsqueda de información	explicación de inercia, sistema inercial y fuerza como interacción para producir cambios en el movimiento
Experimento virtual de un proyectil (10)	planteamiento de un problema y actividad de contraste	visualización de un vídeo de JoVE con el experimento del movimiento de un proyectil para que los alumnos realicen los cálculos y comparen con el resultado experimental
2ª Ley de Newton (10)	búsqueda de información	explicación de la relación entre fuerza, masa y aceleración con ejemplos; presentación de las unidades y escalas de dimensión correspondientes
El peso (5)	actividad de contraste	ejemplo de un movimiento vertical sometido a la aceleración de la gravedad por la fuerza peso
Diferencia entre masa y peso (5)	actividad de refuerzo	escucha del fragmento de la canción “Todo de ti” de Rauw Alejandro para debatir la validez de la frase “no hay gravedad que me pueda elevar”; cuestiones: <i>¿cuánto cuesta elevar una bola en la Tierra o en la Luna?</i> ; concluir con los conceptos de ingravidez y peso aparente
Taller conceptual de la 3ª Ley de Newton (60)	búsqueda de información	planteamiento de cuatro cuestiones secuenciales para trabajar en grupos: 1) <i>desplazamiento sobre una silla con ruedas sin apoyo de los pies</i> ; 2) <i>desplazamiento de un astronauta en la estación espacial internacional sin tocar las paredes</i> ; 3) <i>despegue de un cohete en campo abierto o recinto cerrado</i> ; 4) <i>desplazamiento sobre una silla de ruedas sin apoyo de los pies con un compañero en la misma situación</i> ; puesta en común y formulación

Caso particular (5)	planteamiento de un problema	visualización de cuatro imágenes y cuestiones: <i>¿diferencias y origen entre montaña rusa, tarjeta de crédito, molécula de agua y energía en el Sol?</i>
Fuerzas fundamentales (10)	búsqueda de información	descripción de las interacciones gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil
Boletín de problemas (20)	actividad de contraste	resolución en común a petición de los alumnos que previamente los hayan trabajado en casa
Resumen (5)	conclusiones	sobre el primer caso particular y las ideas previas destacar los conceptos principales sobre la fuerza y las leyes de Newton
Evaluación (10)	conclusiones	Segunda vuelta del cuestionario de ideas previas para la evaluación del nivel de aprendizaje adquirido
Caso particular (10)	planteamiento de un problema	imagen de 5 instrumentos de medida de longitud y cuestionar si se está respetando la recomendación de separación de seguridad de 1.2m en el laboratorio
Debate en común (20)	hipótesis	argumentación y valoración del rigor científico en sus respuestas; anotación de palabras clave sobre certeza y fuentes de error
Identificación de instrumentos de medida (30)	actividad de contraste	reconocer para qué sirven y cómo se emplean; elección del adecuado según tamaño y distancia; medida de la distancia de seguridad entre ellos con su propio palmo; discusión de sus resultados; identificación de la medida indirecta de longitudes
Teoría de incertidumbres en medidas directas (45)	búsqueda de información	explicación de fuentes de error y herramientas para valorar el grado de exactitud y de precisión al dar el resultado de un ensayo experimental
La diana (10)	actividad de refuerzo	entrega individual de esquemas con cuatro dianas y para identificar los tiros precisos y / o exactos, con puesta en común
Taller conceptual de propagación de errores (45)	actividad de contraste	Por parejas y con una regla milimétrica y un calibre para 4 actividades secuenciales: 1) <i>medir la longitud de un teléfono móvil</i> , 2) <i>valorar la incertidumbre cometida con la regla</i> , 3) <i>valorar la incertidumbre cometida con el calibre</i> , 4) <i>valorar la incertidumbre si se mide su volumen</i> ; puesta en común
Teoría de incertidumbres en medidas indirectas (10)	búsqueda de información	explicación de los recursos matemáticos para estimar incertidumbres en magnitudes que dependen de otras que sí se pueden medir directamente
Presentación de resultados (10)	planteamiento de un problema	discusión de dos ejemplos de presentación de resultados: cifras significativas, unidades y notación científica
Redondeo (10)	actividad de contraste	resolución y justificación en común de 8 ejemplos de aplicación
Taller conceptual sobre representación gráfica (35)	actividad de contraste	por parejas se enfrentan a 4 cuestiones secuenciales: 1) <i>calcular la velocidad y su incertidumbre de un móvil si 8 personas miden el tiempo de recorrido al final del trayecto</i> , 2) <i>calcular la velocidad y su incertidumbre para un coche si las 8 personas se reparten por el trayecto</i> , 3) <i>sobre una representación gráfica, trazar la recta de mejor ajuste y la incertidumbre en la pendiente</i> , 4) <i>combinar 2) y 3) para obtener velocidad e incertidumbre</i> ; puesta en común

Regresión lineal (5)	búsqueda de información	explicación de una hoja de cálculo para el ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados para el ejemplo de un muelle
Cómo no hacer una representación gráfica	actividad de contraste	presentación de una representación gráfica de medidas de masa en balanza para discutir características inapropiadas y contraste con una representación útil
Resumen	conclusiones	síntesis común de los rasgos principales para realizar una medida y valorar su bondad y grado de confianza

Cuestionario inicial-final

El sondeo de las ideas previas de los alumnos sobre la dinámica, las leyes de Newton y la realización de medidas experimentales para valorar la presencia de errores conceptuales y el grado de profundidad se ha realizado con un cuestionario anónimo que les enfrentara a razonar sobre los problemas básicos del mapa de contenidos:

- *Estás jugando en una bolera y al lanzar la bola ¿cómo caerá al sistema de colección si hay o no bolos al final de la pista? ¿Por qué?*
- *Durante la clase el compañero de la esquina contraria te pide un bolígrafo. ¿Eres capaz de acertar en el lanzamiento? ¿Y si es invierno y llevas guantes puestos? ¿Y si en el instante de la recogida se abre la ventana próxima con una repentina corriente de aire? Razona el por qué en cada situación.*
- *Un señor de 87 kg de peso se sube encima de una mesa para cambiar la bombilla led del techo. ¿Qué ocurriría si el tablero de la mesa es de madera maciza o si es de malla elástica? ¿Por qué?*
- *¿Cómo calcularías la masa de 1 litro de agua contenido en un recipiente cilíndrico? ¿Y si tuvieras que hacerlo sólo con una regla milimétrica? ¿Qué resultado te parecería más adecuado: la respuesta a la primera o a la segunda cuestión? ¿Por qué?*

El diseño de estas cuestiones se ha propuesto desde un punto de vista poco formal y más intuitivo para intentar remover al alumno y que se plantee el por qué de las situaciones. Se pretende con esto que en el desarrollo del CIMA el estudiante sea capaz de descubrir la posibilidad de predicción con el uso de recursos físicos y matemáticos.

Aplicación del CIMA

Relato resumido de las sesiones

En la aplicación del CIMA se han destinado 4 horas para el aprendizaje de los contenidos conceptuales (miércoles, jueves y viernes) y otras 4 horas correspondientes a dos sesiones de laboratorio (martes), iniciando con la primera de estas sesiones prácticas. El resumen de su evolución se describe a continuación:

Sesión 1 (120min)

El primer día de aplicación del CIMA coincidió con la primera sesión de prácticas, donde sólo participan 10 alumnos. Se realizó una presentación de qué, cómo, por qué y para qué se trabajará en el laboratorio. A continuación, se pasó el cuestionario de ideas previas, apreciando un poco de estrés al principio y cierto desinterés en general. Para el desarrollo de las tres primeras actividades, la colaboración y conversación de los alumnos ha sido bastante costosa de conseguir, pero la conclusión de la necesidad de medir fue clara. De los cinco instrumentos de medida de longitudes que estaban proyectados, los alumnos reconocieron tres. Y cuando se les sugirió que midieran con sus palmas han

estado también con poco ánimo participativo, por lo que hubo que pasearse entre los bancos para insistir. En el debate ha sido evidente la diferencia entre los patrones de medida y la necesidad de establecer un criterio. Los instrumentos de medida de distancia indirecta parecieron despertarles la curiosidad cuando reconocieron su utilidad. Durante el bloque de teoría de incertidumbres, en líneas generales los alumnos han estado atentos y más confiados en interrumpir para plantear dudas. Los ejemplos de las fuentes de error que llevan a imprecisiones e inexactitudes en una medida durante la observación de un fenómeno físico les han inquietado y el criterio para representar el resultado de una medida directa se ha llegado a entender. Finalmente, el ejercicio de las dianas ha puesto de manifiesto la dificultad de asignar qué caso era preciso e inexacto y exacto e impreciso.

Sesión 2 (60min)

Se parte con una baja tasa de asistencia porque hay “parcialitos” en otras asignaturas. Tras visualizar el vídeo inicial de movimiento, el debate correspondiente se ha tenido que animar con cuestiones y opciones de respuesta. En la pizarra se anotaron palabras clave relacionándolas con el tema anterior de cinemática, algunas de ellas presentes en el mapa de contenidos. Sin embargo, no salieron “fuerza” o “masa”, de los que todos deberían tener ideas previas. Quizá el tiempo para pensar no fue suficiente o el problema inicial no lo bastante interesante. A continuación, se presentó la dinámica como aquella parte de la física que se encarga de estudiar estas interacciones y sus consecuencias y se inició la descripción vectorial y gráfica de la fuerza. Como actividad de refuerzo se vio el vídeo de cuatro experimentos caseros de la aplicación de una fuerza. Los alumnos debían visualizar el carácter vectorial de la fuerza aplicada y su consecuencia, comentar similitudes o diferencias y detectar las distintas naturalezas de la interacción. Y, aunque estuvieron un poco más receptivos, encontraron dificultades en identificar la deformación de un cuerpo como otra consecuencia de la fuerza aplicada. Esto dio pie a la explicación de la propiedad escalar “masa”.

Sesión 3 (60min)

Al inicio se hizo un pequeño recordatorio de la clase anterior para entrar de lleno en la formulación física de la primera Ley de Newton. Se ilustró con una pequeña referencia histórica de cómo Newton demostró el planteamiento de Galileo para la hipótesis de la gravitación universal en contra de los principios aristotélicos. Luego se explicó la ley de la inercia y se definió el sistema de referencia inercial donde estas leyes son válidas. Los alumnos parecían reconocer esta ley. Como contraste se visualizó un experimento simulado de la web JoVE para particularizar la descripción de fuerzas que actúan sobre el movimiento de un proyectil. Los alumnos realizaron los cálculos y predicciones físicas y luego compararon con el resultado experimental del vídeo. Esta actividad sirvió para introducir la formulación de la segunda ley de Newton, que parece que es con la que los estudiantes estaban más familiarizados. Aun así, se reforzó el significado físico de las tres magnitudes involucradas (fuerza, masa y aceleración) en función de casos extremos: más o menos masa, objeto parado o en movimiento. Luego se resolvió el caso particular del movimiento vertical y la diferencia entre masa y peso. A partir de aquí los alumnos ya podían comenzar a resolver problemas del boletín. Finalmente se escuchó el fragmento de una de las canciones del verano con la frase *no hay gravedad que me pueda elevar*. Se discutió en común la certeza de la misma. Y como refuerzo se utilizaron los ejemplos de pesarse en la Tierra o en la Luna, de la ingravidez y del peso aparente.

Sesión 4 (60min)

El mayor experimento docente consistió en un taller conceptual sobre la tercera ley de Newton. Con la poca asistencia a esta clase debieron trabajar en parejas repartidas por las gradas del aula. Las preguntas se fueron proyectando en la pantalla de forma secuencial cada 10 min para consensuar una respuesta escrita. En la primera pregunta prácticamente

todos dieron la respuesta esperada y describieron lo que ocurriría introduciendo conceptos como *que costaría más trabajo y se tardaría más*. En la siguiente pregunta estuvieron un poco más descolocados y plantearon alternativas un poco más ficticias, como el lanzamiento de cuerdas. En la tercera pregunta tuvieron claro más o menos el efecto de la propulsión mientras que para la segunda situación se tuvieron que aportar pistas en casi todas las parejas. La cuarta pregunta les resultó más fácil de abordar. Sin embargo, al poner en común las respuestas, los alumnos fueron capaces de evaluar las situaciones, pero no las vincularon con los conceptos, la formulación física del fenómeno y las leyes trabajadas en clases anteriores, que vino por parte del profesor junto con la formulación del principio de acción y reacción.

Sesión 5 (120min)

En la primera parte de la segunda sesión de laboratorio también se quiso probar con un taller conceptual breve sobre la realización de medidas indirectas de magnitudes físicas. Cada pareja disponía en su puesto de dos instrumentos de medida de longitudes. Los problemas se fueron proyectando en la pantalla del laboratorio. Durante la primera propuesta de resolución hubo que hacer recomendaciones para proceder. Y para abordar la segunda se tuvo que realizar un recordatorio de la sesión anterior de laboratorio para el planteamiento de la estimación de incertidumbres. En la tercera cuestión los alumnos tuvieron dificultades para detectar la resolución del instrumento que manejaban y en cómo medir. Finalmente pudieron estimar el volumen requerido, pero tuvieron dificultades al plantear el cálculo de incertidumbres en medidas indirectas. Tras la puesta en común se explicó la teoría de incertidumbres para medidas de magnitudes que dependen de otras que sí se miden directamente. El mecanismo de actuación les pareció más razonable que su propia intuición y siguieron bien el proceso en un ejemplo resuelto entre todos. Luego se rescató en la pizarra cómo habían escrito los resultados de sus medidas para hablar de la presentación de resultados en cuanto a cifras significativas, dimensiones, redondeo y reglas de *redacción científica elegante*. Estas herramientas se trabajaron con ejemplos resueltos por los alumnos en voz alta, lo que generó alguna dificultad por timidez aguda. Para la última parte también se intentó una actividad deductiva por parejas con cuatro ilustraciones y datos experimentales sobre cálculos de velocidad de un coche desde distintos planteamientos. A los alumnos les costó intentar extraer información a partir de la tercera tarea, sobre una gráfica y, en particular, imaginarse una incertidumbre a partir de ella. Estos aspectos se resolvieron en la puesta en común con un ejemplo aplicado a un muelle. Luego sobre una imagen se discutió cómo no debe ser una representación gráfica y se realizó un resumen de conclusiones en común, aunque los alumnos llegaron bastante cansados como para aportar.

Sesión 6 (60min)

La sesión comenzó con una breve recapitulación de las anteriores con las tres leyes de Newton ya formuladas. Brevemente se cuestionó qué tienen en común cuatro imágenes, reforzando las preguntas para localizar las diferencias entre ellas. Tras la descripción de las características más importantes de cada una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza en conexión con las imágenes anteriores, los alumnos sí entendieron la propuesta. A continuación, se procedió a resolver los problemas del boletín a petición de los alumnos, que encontraban dificultades en traducir y plantear condiciones iniciales a partir de los enunciados, señal ineludible de que se habían trabajado bastante poco desde casa. Como conclusión, se recordó el vídeo inicial y sus palabras clave iniciales para resumir las ideas principales de fuerza, movimiento y leyes de Newton. Durante los últimos minutos se volvió a pasar el cuestionario de ideas previas, afortunadamente contando con la presencia de los que ya lo realizaron antes. El resto de los alumnos se mostró poco colaborativo.

Evaluación del aprendizaje de los estudiantes

Para tener idea de la progresión del aprendizaje de los alumnos, se contrastó el mismo cuestionario al inicio y al final del experimento docente (Rivero y Porlán, 2017). Las preguntas se formularon pretendiendo abarcar los cuatro bloques del mapa de contenidos en un tono más distendido y abierto. Se han seguido las recomendaciones descritas por Rivero y Porlán (2007), empleando un lenguaje asequible para inducir a pensar sobre situaciones cotidianas (cuestión 2), hipotéticas (cuestiones 1 y 3) y problemas (cuestión 4) con intención de despertar la curiosidad de los estudiantes. Los diferentes niveles de la escalera de aprendizaje se han ordenado según si la respuesta:

- *No se contesta o tiene errores conceptuales*
- *Se basa sólo en ideas intuitivas*
- *Recoge ideas intuitivas y emplea conceptos formales*
- *Identifica conceptos formales y aplica formulaciones físicas*

Los contenidos conceptuales que se ponen de manifiesto en la primera cuestión son la fuerza, la inercia y el primer principio de Newton, en la segunda son el segundo principio de Newton y las fuerzas de contacto y a distancia, las fuerzas de contacto, acción y reacción y tercer principio de Newton para la tercera cuestión y medidas experimentales e incertidumbres asociadas correspondientes a la cuarta cuestión. Hay que mencionar que sólo durante el ejercicio del cuestionario inicial algunos alumnos manifestaron dudas sobre el planteamiento de la primera cuestión, pero el resto de la actividad se desarrolló con normalidad en los dos momentos de aplicación. El resultado, contrastando el porcentaje de respuestas de los alumnos en cada nivel de aprendizaje al principio y al final del tema, se analiza en la Figura 3 a):

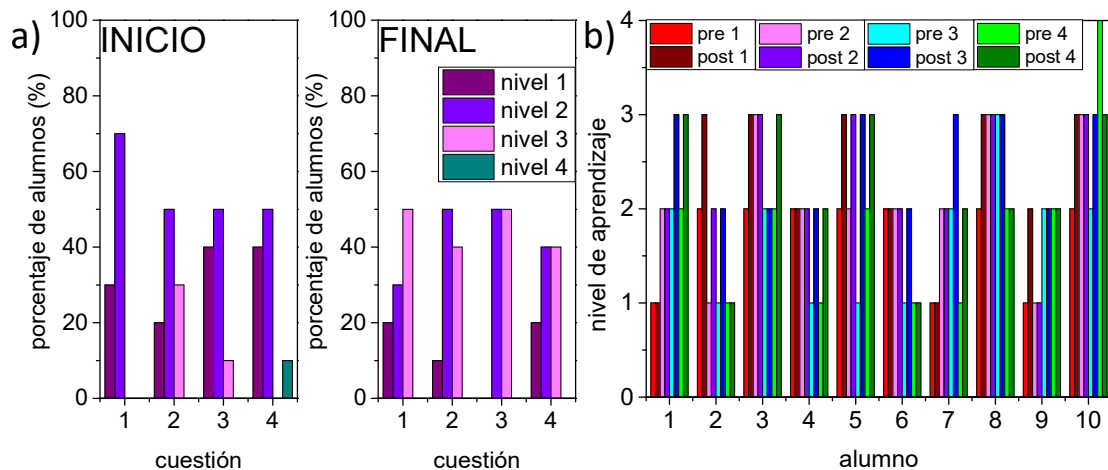


Figura 3. Evolución de las respuestas de los alumnos al cuestionario

En el análisis inicial predomina el segundo nivel en la escalera de aprendizaje, aunque una población importante todavía parecía encontrarse en el primer nivel. Par la cuestión 2, donde el contenido conceptual es más popular (2ª ley de Newton) y la situación planteada más cotidiana, hubo ciertas connotaciones referidas al nivel 3. No obstante, en general se echó en falta el uso de vocabulario científico, el reconocimiento de magnitudes y leyes físicas y alguna referencia a formulaciones matemáticas. Sorprendentemente, la última cuestión relacionada con las prácticas ha dejado entrever cierto conocimiento adquirido respecto al concepto densidad y la valoración sobre cómo medir. La comparación con las respuestas al finalizar el experimento, aunque no han cubierto las expectativas utópicas de alcanzar un nivel maduro de aprendizaje de nivel 4, sí dejan claro una

evolución positiva del conocimiento construido. Así, el nivel 3 de respuestas consigue poblarse más o igual que el nivel 2 y la cantidad de alumnos que todavía se mantienen en el nivel 1 se ha conseguido reducir. Curiosamente, la cuestión 3, relacionada con el contenido teórico del taller conceptual, ya no presenta alumnos con el primer nivel de conocimientos. Por lo que la valoración del ejercicio docente ha resultado ser positiva.

En cuanto a la evolución individual, la Figura 3 b), ofrece una idea clara de avances de todos los estudiantes, en al menos un nivel en alguno de los cuatro bloques conceptuales. También se puede reconocer que el ritmo de aprendizaje generalizado ha sido lento, suponiendo el progreso de un único escalón desde su nivel de aprendizaje de partida, con excepciones puntuales, tanto de avance en dos niveles como de retroceso en uno de ellos. Sin embargo, en algunos apartados no se ha conseguido madurar el grado de conocimiento previo después de la aplicación de las propuestas metodológicas.

Evaluación del CIMA

Aspectos a mantener o cambiar para un futuro CIMA

La sensación escéptica de estar invirtiendo tiempo y recursos en un experimento que parecía *infantilizar* contenidos y cambiar una metodología reconocida, se ha sustituido por la inquietud de formular problemas interesantes y actividades de contraste de calidad que se puedan combinar en una especie de clase pseudomagistral. Los conocimientos fundamentales de física difícilmente se van a poder descubrir y deducir por uno mismo, aunque se trabaje con la visión contrastada de otros compañeros y con la orientación del docente. Y a pesar del planteamiento innovador de trabajos por problemas los estudiantes aún no llegaban a correlacionarlos con los conceptos trabajados y deducidos en sesiones anteriores ni recurrían a formalismos físicos. En el punto medio, si bien es cierto que el papel del alumno en las clases magistrales es pasivo durante las sesiones teóricas y activo, aunque poco motivado, para trabajar desde casa en los problemas, su integración con elementos innovadores como pequeños talleres conceptuales (Finkel, 2008), tanto en el apartado de teoría como en el de laboratorio, podría llevar a un punto medio provechoso. De la nueva metodología interesaría mantener aquellos aspectos que han servido para tener una mayor interactividad con los alumnos, propiciar la oportunidad de pararse a pensar y preguntarse cosas y un mejor seguimiento del proceso de aprendizaje. En cuanto a aspectos actitudinales, los alumnos han trabajado más cómodos en parejas que participando en puestas en común con el grupo completo, cuestión que habría que trabajar para que sean responsables y conscientes de su propio aprendizaje (Bain, 2007).

Aspectos a incorporar a la docencia habitual.

En mi práctica docente relajaría la ambición por cambiar, probar y experimentar una metodología más deductiva para combinarla con actividades de construcción del conocimiento sobre una base previa que partiera necesariamente de la acción del profesor. En particular, la actividad de apertura respecto a un problema inicial y las tareas de contraste sobre casos concretos, donde se comparen fenómenos con tiempo suficiente para pensar, expresarse y comparar, previo conocimiento de la formulación física y matemática, son algo que llega para quedarse. No obstante, algunas de las propuestas metodológicas han generado cierto estrés en los estudiantes y/o poco interés. Esto supone un mayor y mejor esfuerzo en su diseño para encontrar y proponer motivaciones necesarias para que los estudiantes estén receptivos a trabajar y enfrentarse solos a resolver problemas. Esto permitiría dedicar más tiempo en clase a los ejercicios de contraste. Es cuestión de práctica

el que consigan reconocer la información de un enunciado y elegir el recurso físico adecuado para hacer cálculos sobre cualquier situación del entorno. En definitiva, esto es parte de las competencias que deberían adquirir dado el actual sistema de calificación. Por eso mismo parece ineludible el aliciente cuantitativo y calificativo como estímulo. Por otro lado, el cuestionario de ideas previas es un buen ejercicio de diagnóstico y la programación de la puesta en común en su segunda vuelta podría servir para tomar conciencia de qué se hubiera esperado del conocimiento adquirido, al igual que las herramientas de evaluación del contenido, la metodología y el profesor como guías de mejora (Rivero y Porlán, 2017). Además, el mapa de contenidos es otra actividad que da juego no sólo para mostrar a los alumnos las relaciones entre conceptos si no como prueba de autoevaluación para que ellos mismos las establezcan. Finalmente, el taller conceptual (Finkel, 2008) es una propuesta avalada por los resultados, digna de ser integrada.

Principios Docentes argumentados

Uno de los principios didácticos de integración sencilla en la enseñanza de Física es *la relación de los contenidos con el entorno vital de los estudiantes* tirando de ejemplos cotidianos y situaciones hipotéticas (Bain, 2007) que pueden explicarse y predecirse. Igualmente resulta adecuado *trabajar en torno a problemas relevantes* desde el punto de vista del conocimiento, de la sociedad y de la generación estudiantil como para invertir tiempo en plantear, contrastar, intentar resolver y promover la construcción de conocimientos más complejos. Además, es fundamental *establecer relaciones*, no sólo entre los contenidos conceptuales de un mismo bloque sino persiguiendo la transversalidad con otras unidades temáticas e incluso otras materias. Otro principio docente concebido en este CIMA es el fomentar la *capacidad de comunicación de los estudiantes*, de procurar espacios para dar voz a los alumnos de forma continuada y de sintetizar las ideas relevantes. Los ejercicios de sondeo de conocimientos previos permiten contextualizar y adaptar la metodología con espíritu de atención a la diversidad (Bain, 2007) así como evaluar la progresión y el éxito en el aprendizaje. Por último, la actitud del docente debería ser esencial si hay intención de educar en valores, de ejercer e inspirar con el ejemplo en motivación, organización, honestidad, responsabilidad, rigor, comunicación y sana convivencia.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, R. (2020). Una metodología investigativa para enseñar Magnetostática. En E. Navarro y R. Porlán (Coords.), *Ciclos de mejora en el aula año 2019. Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 42-64). Editorial de la Universidad de Sevilla.
- Bain, K. (2007). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Publicacions de la Universitat de València.
- Delord, G.; Hamed, S.; Porlán, R. y De Alba, N. (2020). Los Ciclos de Mejora en el Aula. En N. De Alba y R. Porlán (Coords.), *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica* (pp. 128-162). Ediciones Morata.
- Finkel, D. (2008). *Dar clase con la boca cerrada*. Publicaciones de la Universitat de València.
- Martínez, A. (2018). Aplicación de un Ciclo de Mejora Docente en “Dinámica de la Partícula”. *Jornadas de Formación e Innovación Docente del Profesorado, 1*, 1135-1152. DOI: 10.12795/JDU.2018.i01.64.
- Rivero, A. y Porlán, R. (2017) La evaluación en la enseñanza universitaria. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla*, (73-91). Ediciones Morata.