



Universidad Internacional de La Rioja

Facultad de Educación

Trabajo Fin de Máster

Propuesta metodológica para
trabajar la unidad didáctica
de «Interacción gravitatoria»
en Física de 2º de Bachillerato

Presentado por: Javier José Río Romero

Tipo de trabajo: Propuesta de intervención

Director/a: María José Cuetos Revuelta

Ciudad: Barcelona

Fecha: 08/02/2019

*La ciencia consiste en sustituir
el saber que parecía seguro
por una teoría, o sea,
por algo problemático.*

José Ortega y Gasset

Filósofo y ensayista español (1883-1955)

Resumen

La preparación de los alumnos de 2º de Bachillerato para la superación de las pruebas de acceso a la Universidad (PAU) promueve en esta etapa metodologías docentes expositivas o tradicionales, que basan el aprendizaje en la transmisión y memorización de conceptos y en la mecanización de ejercicios cuantitativos. De esta forma, no es posible transformar el aprendizaje en significativo. Además, aumenta la frustración y la desmotivación de los alumnos, que no relacionan los conceptos teóricos con la realidad. Este hecho disminuye el interés por la Física e impacta negativamente en nuestro objetivo de conseguir la alfabetización científica, es decir, desarrollar personas que conozcan la importancia de la ciencia y su interrelación con la sociedad y el medio ambiente, así como que sean capaces de trabajar en equipo y que puedan hacer frente a la resolución de problemas.

Por este motivo, se desarrolla en el presente trabajo una propuesta metodológica innovadora para trabajar la unidad didáctica de Interacción gravitatoria de 2º de Bachillerato desde una metodología que sitúa al alumno como protagonista del proceso enseñanza-aprendizaje. La estrategia escogida es el *Aprendizaje Basado en Problemas* (ABP), donde grupos reducidos de alumnos se enfrentan a un problema retador a resolver. Juntamente con el trabajo colaborativo y las herramientas TIC, este enfoque nos permitirá trabajar mejor las competencias y habilidades que se consideran clave hoy en día para el desarrollo óptimo de los estudiantes.

Palabras clave: Interacción gravitatoria, Contextualización, TIC, Aprendizaje cooperativo (AC), Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)

Abstract

The preparation of the students of the 2nd year of Bachillerato to pass the entrance exams to the University (PAU) makes take expository or traditional teaching methodologies at this stage, which base the learning on the transmission and memorization of concepts and the mechanization of quantitative exercises. Hence, it is not possible to transform learning into meaningful. In addition, it increases the frustration and demotivation of the students, who do not relate the theoretical concepts with reality. This fact diminishes the interest in Physics and negatively impacts our goal of achieving scientific literacy, that is, developing people who know the importance of Science and its interrelation with society and environment, as well as being able to work cooperatively and face problems resolution.

For this reason, an innovative methodological proposal is developed in this work to work on the didactic unit of Gravitational Interaction of the 2nd year of Bachillerato from a methodology that places the student as main character of the teaching-learning process. The strategy chosen is Problem Based Learning (PBL), where small groups of students face a challenging problem to solve. Together with collaborative work and ICT tools, this approach will allow us to better work on the competencies and skills that are considered key today for the optimal development of students.

Keywords: Gravitational interaction, Contextualization, ICT, Cooperative Learning (CL), Problem-Based Learning (PBL)

Índice

1. Introducción	1
1.1. Justificación teórica.....	1
1.2. Justificación personal.....	3
1.3. Planteamiento del problema.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo principal.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	6
2. Marco teórico.....	6
2.1. Justificación de fuentes bibliográficas.....	6
2.2. Aprendizaje basado en problemas (ABP).....	6
2.3. Aprendizaje cooperativo (AC).....	11
2.4. Recursos TIC.....	14
2.5. Aprendizaje significativo	17
3. Propuesta de intervención	18
3.1. Contextualización de la propuesta.....	18
3.1.1. Marco legislativo	19
3.2. Contenidos, objetivos y competencias.....	21
3.3. Metodología	27
3.4. Temporalización	27
3.5. Recursos.....	29
3.6. Descripción y secuencia de las actividades.....	30
3.7. Evaluación	44
3.8. Evaluación de la propuesta.....	48
4. Conclusiones.....	49
5. Limitaciones y prospectiva.....	51
6. Referencias bibliográficas.....	52
7. Anexos	56

Índice de figuras

Figura 1. Desarrollo del proceso del ABP. (Morales y Landa, 2004, p. 154).....	9
Figura 2. Fases del proceso del ABP. (Exley y Dennick, 2007).....	10
Figura 3. Resultados del trabajo cooperativo. (Johnson et al. 1994).....	12
Figura 4. Los componentes esenciales del aprendizaje cooperativo. (Johnson et al. 1994).....	13
Figura 5. Supuesta órbita del Planeta 9. (Planeta Nueve. (n.d.). En Wikipedia. Recuperado de https://bit.ly/2TthIso)	34
Figura 6. Ley de Gravitación Universal.....	40
Figura 7. Cálculo de vectores unitarios.	41
Figura 8. Cálculo de la intensidad del campo gravitatorio generado por dos masas, m_1 y m_2 , en un punto P	41
Figura 9. Visualización de órbita generada desde hoja de cálculo.....	61

Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes de las TIC.	16
Tabla 2. Temporalización de las actividades.	28
Tabla 2. Definición de los grupos de trabajo cooperativo.	33
Tabla 3. Contenidos y competencias básicas a trabajar en cada problema.....	43
Tabla 5. Criterios de evaluación, estándares de aprendizaje y competencias ...	44
Tabla 6. Rúbrica para la evaluación de la unidad.....	47
Tabla 7. Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables en Bloque 2. Interacción gravitatoria de Física 2º Bachillerato (LOMCE).....	57
Tabla 8. Contenidos y criterios de evaluación en Tema 2. Interacción gravitatoria de Física 2º Bachillerato (LOE).	58

Índice de ecuaciones

(1).....	2
(2).....	40
(3).....	40
(4).....	41
(5).....	41
(6).....	41
(7).....	42
(8).....	42

1. Introducción

Los retos educativos que se presentan en la actualidad pueden ser abordados desde nuevos enfoques y mediante estrategias que estén basadas en los descubrimientos más recientes sobre psicología cognitiva. Esto nos abre un gran abanico de posibilidades para estudiar y analizar nuevas propuestas metodológicas, innovadoras, que puedan llevarse a cabo en el aula y que enriquezcan el proceso de enseñanza-aprendizaje. En el presente trabajo de final de máster se trata de desarrollar una de estas propuestas docentes, a la vez que este sirve como compendio de todo lo aprendido durante el curso académico.

1.1. Justificación teórica

Históricamente, los astros que transitan la bóveda celeste y son visibles a simple vista, tanto de día como de noche, han suscitado siempre un gran interés en el ser humano, dando pie a elucubraciones y teorías diversas ya desde el inicio de las primeras civilizaciones. Sin duda, el carácter eterno e inmutable de los cuerpos celestes siempre ha contrastado sobremanera con la variabilidad e impredecibilidad de los fenómenos naturales que ocurren en la superficie terrestre. Aún más, el aparente comportamiento lógico de los cuerpos al caer hacia «abajo» cuando son lanzados hacia «arriba», retornando a su estado inicial de reposo, no se ajusta a la realidad de los cuerpos celestes, estando éstos permanentemente «enganchados» ahí arriba y dando la sensación de flotar sobre nuestras cabezas. Estas observaciones pueden parecer triviales hoy en día, pues ya tenemos respuestas para muchas de estas preguntas. Sabemos qué son estos astros, por qué brillan y cómo se trasladan por el firmamento. Teorizamos sobre su formación o sobre cuál será su evolución. También se han descrito ampliamente los mecanismos por los que estos orbitan unos sobre otros o se mantienen unidos, formando en ocasiones estructuras aún más colosales, y al mismo tiempo, se ha logrado entender por qué no caen sobre nosotros como lo haría cualquier otro objeto.

Sin embargo, el camino que se ha recorrido para llegar a alcanzar este grado de conocimiento no ha sido fácil. Fueron ciertos individuos, como *Nicolás Copérnico* (1473-1543), *Tycho Brahe* (1546-1601), *Johannes Kepler* (1571-1630), *Galileo Galilei* (1564-1642) o *Isaac Newton* (1643-1727), entre muchos otros, los que permitieron avanzar progresivamente en el saber de esta materia, aplicando el método científico y alejándose de las explicaciones sobrenaturales o «divinas» que se venían proponiendo

desde la Prehistoria hasta la Baja Edad Media. Así, fueron arrojando un poco de luz sobre cómo funciona el cosmos, dónde vivimos y cuál es nuestro rol en el Universo.

En resumen, el estudio y la observación de los astros y los fenómenos celestes – la astronomía, a fin de cuentas – ha sido siempre objeto de fascinación y estudio a lo largo de nuestra Historia. Desafortunadamente, eso parece estar cambiando en este inicio de siglo XXI, posiblemente a causa de la hipercomplejidad de nuestra sociedad de consumo, las problemáticas de la vida cotidiana, la contaminación lumínica de las ciudades o, sencillamente, por la pérdida de interés por algo que ya se conoce y está ampliamente explicado. Solo en contadas ocasiones la sociedad participa de un debate u opinión relacionados con la astronomía, como podría ser la exclusión de Plutón de la lista de planetas del Sistema Solar, las «lluvias de estrellas» o los eclipses (que rara vez se explican y se plasman correctamente en los libros de texto, por lo que sería imposible para los ciudadanos entender íntegramente el proceso por el cual éstos ocurren y cuándo lo hacen). Es más, uno de los fenómenos naturales más compartidos por la sociedad – y bastante común – son los eclipses lunares (conocidos coloquialmente como «lunas de sangre»). Es realmente sorprendente la tremenda fascinación de la ciudadanía por el color rojizo de la Luna y a su vez la gran ignorancia y falta de interés por el mecanismo físico que lo produce.

Puede que sea por todo ello que la enseñanza de Bachillerato en España incluye varios bloques relacionados con la dinámica de los cuerpos celestes (Ley de gravitación universal y Leyes de Kepler, en 1º de Bachillerato) o a la interacción gravitatoria en sí misma (fuerzas centrales, campos conservativos y órbitas, en 2º de Bachillerato) (art. 37 RD 1105/2014, de 26 de diciembre). Sin embargo, podríamos cuestionarnos cuál es el objetivo final de impartir estos contenidos. ¿Son acaso estas leyes la explicación definitiva que todo ser humano debería conocer sobre el funcionamiento de la Naturaleza? Resulta ser que no. En ese sentido, sería más adecuado estudiar la Teoría de la Relatividad General de *Albert Einstein* (1879-1955) – que a día de hoy es la explicación más satisfactoria para los fenómenos relacionados a la interacción gravitatoria –, aun a riesgo de marear a los alumnos con complejas y anti intuitivas explicaciones sobre el espacio-tiempo. Si por el contrario buscamos un pretexto para trabajar las competencias clave que describe la LOMCE (2013), debemos plantearnos irremediamente qué metodología docente es más eficaz, independientemente de los contenidos. No querríamos imponer al alumno que la energía potencial gravitatoria es tal que así:

$$E_{pg} = -G \frac{Mm}{r} \quad (1)$$

Siendo G la constante de gravitación universal, m y M las masas de los cuerpos implicados en la interacción y r la distancia radial que los separa. Sino más bien instruirle en el porqué de la dependencia con las masas, la proporcionalidad inversa de la distancia o la necesidad de incluir un signo negativo en la fórmula, sin olvidar también de ahondar en las implicaciones de que sean éstas y no otras las leyes naturales que rigen nuestro Universo.

Desafortunadamente, la etapa de Bachillerato está claramente enfocada a preparar y superar las pruebas de acceso a la Universidad (PAU). Con tal propósito, se tiende a plantear una metodología docente tradicional o expositiva, complementando la impartición de conceptos por parte del profesor con la resolución de ejercicios mecánicos o problemas de la misma tipología de los que suelen aparecer en el examen de Física de las PAU. Este es, sin duda, un enfoque altamente estratégico, que puede favorecer el manejo del lenguaje matemático y algebraico, pero que en última instancia provoca que los alumnos busquen reglas o patrones de resolución que puedan aplicarse de forma mecánica. Por esta vía no se trabaja el modelo teórico ni la capacidad de reflexión, por lo que es difícil expresar ideas y formular hipótesis. Básicamente, los alumnos son incapaces de transformar el pensamiento concreto en un pensamiento formal o científico, por lo que su motivación para con la asignatura se ve mermada (Gómez y Pozo, 2009). En definitiva, no se trabajan los contenidos conceptuales, procedimentales, ni actitudinales, y se pierde la oportunidad de conseguir un aprendizaje significativo.

1.2. Justificación personal

En base a lo expuesto en el apartado anterior, el autor del presente trabajo considera sumamente importante dotar a los alumnos que estudian y se interesan por las ciencias de la capacidad de razonar y reflexionar sobre los problemas que antaño fueron tan relevantes para la humanidad y que intentan describir la realidad en la que todos vivimos. Esto debe abordarse desde su implicación emocional para con esos problemas, siendo así capaces de afrontarlos y solucionarlos desde un enfoque profundo que les permita su aplicación a otros contextos.

La sociedad es cada vez más tecnológica y científicamente avanzada, pero también más dependiente de estos avances. Perder nuestra creatividad, nuestro razonamiento complejo o nuestra propia consciencia sobre dónde vivimos y sobre cómo funciona la Naturaleza, nos puede convertir en seres tremendamente vulnerables. La Tierra – el único planeta habitable que conocemos – empieza a padecer el sobrecalentamiento

de nuestros malos hábitos, y nuestra ignorancia o el escepticismo mal encauzado puede destruirla. Por ello, la alfabetización científica de nuestra sociedad es esencial.

1.3. Planteamiento del problema

La poca implicación de los estudiantes con las asignaturas en las que se imparten contenidos científicos suele ocurrir a causa de las metodologías con las que éstas se imparten, usualmente de carácter transmisivo y poco relacionadas con las experiencias a las que se enfrenta el alumno en su vida cotidiana. Se presupone que la mente de los alumnos se estructura lógicamente para seguir el razonamiento científico y que únicamente hay que facilitarles los saberes conceptuales. Sin embargo, los alumnos cuya organización mental es distinta no pueden seguir con facilidad los estudios de ciencias y se desmotivan o se frustran. Esta tendencia, que afecta especialmente a la asignatura de Física, se discute con detenimiento en el estudio de Méndez-Coca (2015). Algún otro artículo ya aboga incluso por el declive de las actitudes hacia la ciencia por parte de los estudiantes durante la etapa escolar, precisamente por ser «autoritaria, aburrida, difícil, irrelevante para la vida diaria y causa de los problemas medio-ambientales que preocupan a la opinión pública» (Vázquez y Manassero, 2008, p. 275).

De hecho, son muchos los factores que juegan en contra de esta implicación. El estadio general del desarrollo en el que se encuentran los alumnos de 2º de Bachillerato – aunque no limita – influye en el aprendizaje y en el funcionamiento cognitivo. La percepción que los estudiantes tienen de su propia inteligencia o capacidad para la ciencia es también muy influyente, aunque en este punto, cabe decir, ya han tomado una importante decisión al elegir la modalidad de Bachillerato. Mención especial al conflicto cognitivo que se produce al comparar lo que se presenta en el aula con los conocimientos y experiencias previas del alumno, dando pie en muchas ocasiones a concepciones erróneas. Algunas investigaciones han tratado de arrojar algo de luz sobre la importancia de estas ideas preconcebidas como dificultades de aprendizaje (Campanario y Otero, 2000).

Adicionalmente, muchos de los conceptos que se imparten en las asignaturas de ciencias se alejan de las concepciones del sentido común, por lo que son realmente difíciles de explicar y poco entendibles para el alumno: *momento*, *campo*, *masa*, *peso* o *gravedad*, por mencionar algunos, son conceptos a los que deberemos enfrentarnos en el marco de esta propuesta. Pacca y Henríque (2004) estudian la dificultad de estudiantes y profesores al tratar problemas que involucran el concepto de *energía*, magnitud fundamental en el contexto de la unidad diseñada para este trabajo.

A todos estos aspectos se suma el hecho que comentábamos en los apartados anteriores, y es que en la etapa de Bachillerato se otorga una gran importancia a las calificaciones. La media de las notas finales, al fin y al cabo, va a influir enormemente en el futuro próximo de los alumnos, ya que les permitirá acceder a unas u otras carreras universitarias. Esto se suma a la presión de las pruebas PAU y dificulta en gran medida el trabajo y adquisición de las habilidades y competencias clave que se espera desarrollar en estos cursos.

En este trabajo diseñaremos la unidad didáctica «Interacción gravitatoria» de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato. En Marco legislativo veremos que los contenidos a nivel estatal y a nivel autonómico no tienen por qué estar alineados, ya que la ley educativa más reciente y en vigor a nivel estatal puede no haberse aplicado aún en la Comunidad Autónoma en la que contextualizamos la propuesta. Con todo, es posible listar algunos de los contenidos comunes que cubrirá nuestra unidad, aunque estos no sean novedad del curso en cuestión (algunos se pueden haber introducido previamente en 1º de Bachillerato):

- Leyes de Kepler y Ley de Gravitación Universal
- Fuerzas centrales y campos de fuerza conservativos
- Campo gravitatorio. Intensidad del campo gravitatorio.
- Potencial gravitatorio
- Relación entre energía y movimiento orbital
- Velocidad orbital y velocidad de escape

Apostaremos principalmente por aplicar una metodología de enseñanza conocida como *Aprendizaje Basado en Problemas* (ABP), cuyos criterios pedagógicos son la significatividad de las actividades propuestas, el papel activo del alumno, su implicación emocional, el uso crítico de las nuevas tecnologías y el trabajo cooperativo.

1.4. Objetivos

A continuación, se detallan los diversos objetivos definidos para la propuesta de intervención didáctica del presente trabajo.

1.4.1. Objetivo principal

- Diseñar una propuesta de intervención didáctica innovadora para el Bloque 2 de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato «Interacción gravitatoria» mediante la puesta en práctica de la metodología *Aprendizaje Basado en Problemas* (ABP).

1.4.2. Objetivos específicos

Se definen también algunos objetivos secundarios o específicos que ayuden a lograr la consecución del objetivo principal:

- Exponer la base teórica que justifique la necesidad de introducir un cambio de paradigma en el proceso de enseñanza-aprendizaje actual y en las metodologías expositivas.
- Explicar la metodología ABP, detallar sus características y explorar sus posibilidades como alternativa a la enseñanza tradicional.
- Desarrollar una unidad didáctica contextualizada, basada en la metodología ABP, definiendo contenidos y objetivos, temporalizando las sesiones y diseñando sus correspondientes herramientas de evaluación.

2. Marco teórico

2.1. Justificación de fuentes bibliográficas

En el presente trabajo se han seguido los criterios recomendados por la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR) para la consulta y consiguiente elección de las fuentes bibliográficas. Cada uno de los estudios, libros y artículos incluidos en Referencias bibliográficas son publicaciones de gran relevancia y prestigio, ya sea por haber sentado las bases del conocimiento en su área de aplicación o bien por constituir un compendio de gran valor sobre una temática dada. Muchas de las obras incluidas en este trabajo han sido innumerablemente referenciadas por otros autores y aún se referencian en la actualidad.

2.2. Aprendizaje basado en problemas (ABP)

Barrows (1986, citado en Morales y Landa, 2004) define el *Aprendizaje Basado en Problemas* (ABP) como «un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos» (p. 147). Además, el ABP es una metodología docente que se caracteriza por centrar el aprendizaje en el estudiante, promoviendo que este sea significativo, y desarrollando también una serie de habilidades y competencias indispensables en el entorno profesional actual (Morales y Landa, 2004). El ABP, más concretamente, es una estrategia de enseñanza-aprendizaje en la que un equipo reducido de estudiantes se reúne para buscar la solución a un problema. Este desafío, facilitado y guiado por el tutor o docente, debe ser un problema debidamente seleccionado o diseñado y ha de ser retador, interesante y motivador, de tal modo que

les plantee un cierto conflicto cognitivo y les genere interés por la búsqueda de la solución (Hmelo-Silver, 2004; Morales y Landa, 2004). Durante el proceso de interacción de los aprendices para entender y resolver este problema se logra trabajar la metacognición, pues además del aprendizaje del conocimiento propio y de los saberes de la materia, puedan elaborar un diagnóstico de sus propias necesidades de aprendizaje y comprender la importancia de trabajar colaborativamente, desarrollar habilidades de análisis y síntesis de información, además de comprometerse con su propio proceso de aprendizaje (Montealegre, 2016).

Hay que remontarse hasta la década de 1960 para encontrar el origen de esta estrategia pedagógica. Fue en la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de McMaster (Canadá) donde un grupo de educadores médicos identificó la necesidad de replantear la forma de enseñanza de la medicina (Morales y Landa, 2004). El paradigma imperante en aquél entonces era un patrón intensivo de clases expositivas que acabó convirtiéndose en «una forma inefectiva e inhumana de preparar estudiantes» (Morales y Landa, 2004, p. 146). El objetivo de estos educadores no era otro que el de conseguir una mejor preparación de sus estudiantes y satisfacer así las demandas de la práctica profesional, por lo que esta nueva propuesta educacional innovadora fue implementada en su plan curricular durante tres años (1969-1972) y pasó a conocerse como *Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) (Problem-Based Learning, PBL)* (Barrows, 1996).

Desde que fue propuesta en la Escuela de Medicina de la Universidad de McMaster, esta metodología ha ido evolucionando y adaptándose a las necesidades de las diferentes áreas en las que se ha aplicado, lo cual implica que haya sufrido muchas variaciones con respecto a la propuesta original (Morales y Landa, 2004). Sin embargo, sus características fundamentales son las siguientes (Barrows, 1996 citado en Morales y Landa, 2004):

- *El aprendizaje está centrado en el alumno*

Los estudiantes pueden personalizar su propio aprendizaje, identificando qué elementos necesitan para mejorar su entendimiento y manejo del problema, dónde pueden conseguir la información necesaria, cuáles son las áreas de conocimiento o entendimiento en las que concentrarse, etc. El profesor se convierte en un mero consultor o guía.

- *El aprendizaje se produce en grupos pequeños de estudiantes*

Una de las características más notables del ABP es el trabajo cooperativo. Los grupos de trabajo suelen conformarse por 5-9 estudiantes.

- *Los profesores son facilitadores o guías*

Según se ha comprobado, los facilitadores del grupo – denominados *tutores* – deben ser expertos en el área de estudio, pero también expertos en el rol de guías. Esto es, plantear preguntas a los estudiantes para ayudarles a potenciar su metacognición, causando que se cuestionen por ellos mismos la mejor ruta de entendimiento y manejo del problema.

- *Los problemas forman el foco de organización y estímulo para el aprendizaje*

El problema representa el desafío que los alumnos deben enfrentar en la práctica y proporciona la relevancia y motivación para el aprendizaje. Con el fin de entender el desafío, los estudiantes han de identificar previamente los conceptos teóricos que deben aprender para poder resolverlo.

- *Los problemas son un vehículo para el desarrollo de habilidades de resolución de problemas reales o realísticos*

El ABP debe facilitar que los alumnos recuerden y apliquen lo aprendido en futuros casos. Para que esto suceda, el formato del problema ha de presentarse de la misma manera a la que ocurre en el mundo real, simulando también los contextos profesionales en los que el estudiante se desempeñará en el futuro.

- *La nueva información se adquiere a través del aprendizaje autodirigido*

Bajo el concepto de currículo centro en el estudiante y profesor como facilitador del aprendizaje, se espera que los alumnos trabajen juntos, discutan, comparen, revisen y debatan permanentemente sobre lo que han aprendido. Se espera, pues, que aprendan a partir de la acumulación de la experiencia que les otorga su propio estudio e investigación.

Con todo, no hay un único modo de llevar a cabo la estrategia ABP, pues recorre una amplia gama de esquemas de instrucción, según Morales y Landa (2004):

- *La investigación dirigida por el docente*

Es el docente quien conduce la investigación, proporcionando la bibliografía o señalando dónde encontrarla, y desarrollando las actividades que permitan garantizar el buen funcionamiento del proceso.

- *La investigación dirigida por el docente y los alumnos*

Aunque el docente controla activamente el avance de la investigación, la bibliografía es buscada por los estudiantes.

- *La investigación dirigida por los alumnos*

Los alumnos realizan la búsqueda de información, para analizarla y relacionarla con lo que ya saben, y así generan las preguntas necesarias para el tutor.

Al diseñar una actividad basada en ABP, se deben tener en cuenta algunos factores importantes: el número de alumnos, el tiempo disponible, los objetivos que se quiere alcanzar, la bibliografía disponible, los recursos disponibles, etc. En base a estos factores, el proceso puede sufrir variaciones (Morales y Landa, 2004).

En cualquier caso, la ruta que siguen los estudiantes para la resolución del problema durante el desarrollo del proceso puede sintetizarse en una serie de pasos, como muestra la siguiente figura:

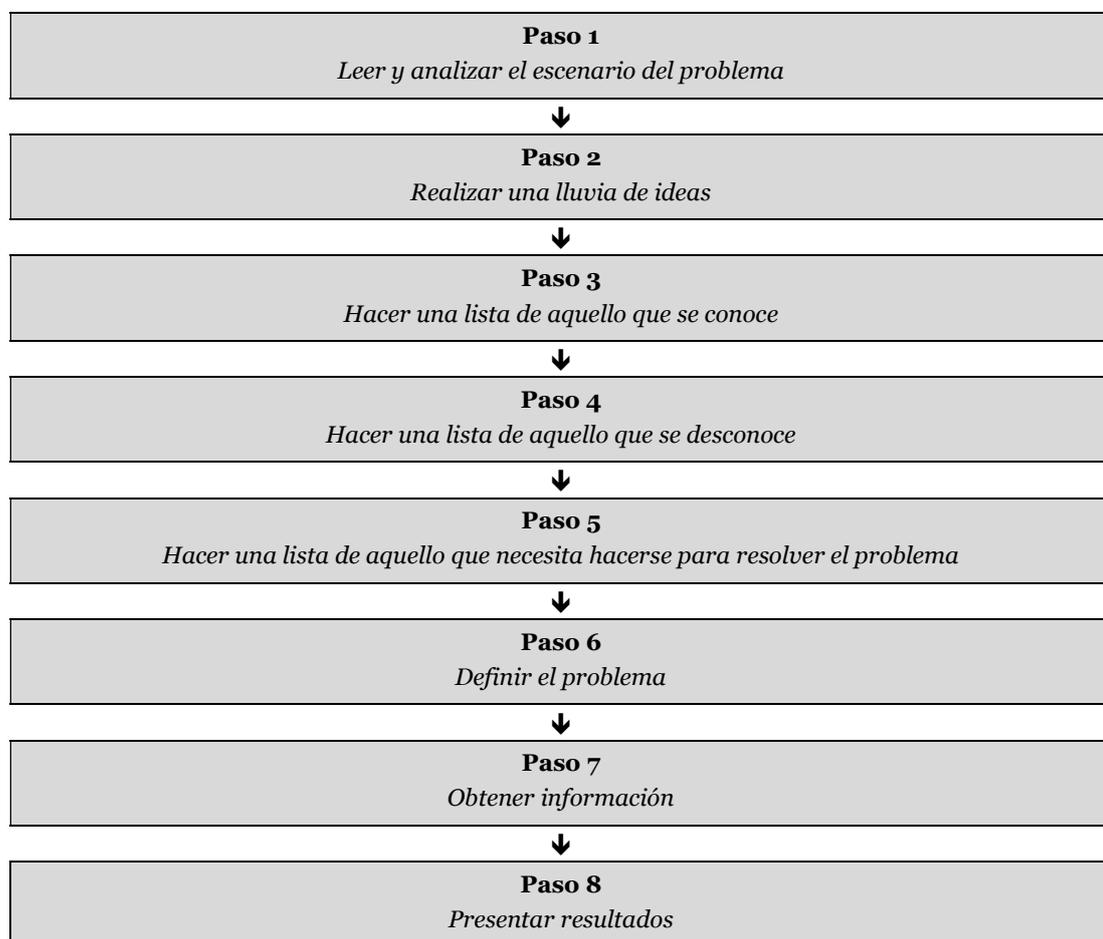


Figura 1. Desarrollo del proceso del ABP. (Morales y Landa, 2004, p. 154)

El esquema presentado, sin embargo, no es la única manera de entender el proceso del ABP. Otros autores, como Exley y Dennick (2007), realizan otra clasificación de las fases del ABP, donde señalan un total de siete fases, como muestra la **Figura 2**.

Destaca que aquí la definición del problema por parte de los alumnos – en contraposición al esquema anterior – tenga lugar al inicio del proceso y no al final.

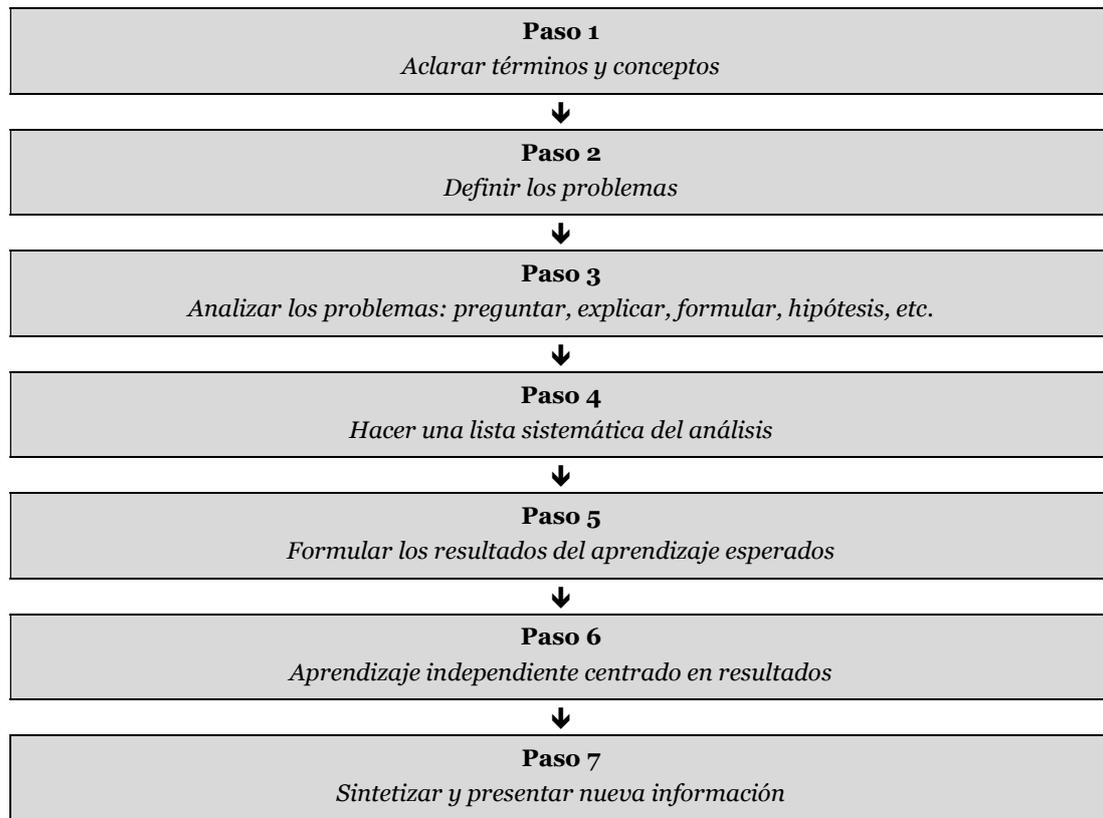


Figura 2. Fases del proceso del ABP. (Exley y Dennick, 2007)

También es esencial al aplicar esta metodología indicar cuáles son los criterios de evaluación al mismo tiempo que se presenta el problema, y estos deben considerar tanto el aporte individual como el trabajo grupal (Morales y Landa, 2004). Además, no solo el resultado final es susceptible de ser evaluado, sino que diversas acciones que los alumnos llevan a cabo durante el desarrollo del proceso pueden ser evaluadas, co-evaluadas o autoevaluadas. Como se indican Vizcarro y Juárez (2008), hay que tener en cuenta:

- *¿Cuándo se evalúa?*

En el ABP, la evaluación tiene lugar a lo largo de todo el proceso, es decir, durante la realización de la tarea y al finalizar la misma.

- *¿Qué se evalúa?*

Por un lado, se evalúan los contenidos de aprendizaje, pero por otro también se evalúan la resolución de problemas, la construcción de significados por parte del estudiante y el desarrollo de estrategias para abordar nuevos problemas y tareas de aprendizaje.

- *¿Cómo se evalúa?*

Como consecuencia de los múltiples aspectos del «qué se evalúa», es también necesaria una variedad de procedimientos de evaluación. Se suele recurrir a exámenes escritos, exámenes prácticos, mapas conceptuales, evaluación de pares, evaluación del tutor, presentaciones orales e informes escritos.

- *¿Quién evalúa?*

Todos los implicados participan en la evaluación, tanto el profesor como los estudiantes y el grupo de trabajo.

Concluyendo, hay muchas razones por las que la importancia del ABP como modelo educativo, según Barrel (1999), queda ampliamente fundamentada. Investigaciones como las de Perkins, Simmons y Tishman (1990) o Marzano (1997) muestran que la resolución de situaciones problemáticas, el pensamiento crítico, las estrategias de indagación y la reflexión conducen a una comprensión más profunda, o que el aprendizaje es mayor cuanto más alto es el grado de significatividad de la información que se usa. Adicionalmente, en experimentos controlados como el de Stepien (1993), se ve que los alumnos que usan ABP en clase muestran un incremento significativo en el uso de estrategias para la resolución de problemas, en comparación con estudiantes que asisten a clases tradicionales.

2.3. Aprendizaje cooperativo (AC)

Una de las características más inherentes a la metodología ABP es la formación de grupos de trabajos y la colaboración entre sus miembros. Uno de los objetivos de aprendizaje de esta metodología es el desarrollo de las competencias que permiten transformar la competición y el beneficio individual en cooperación y éxito conjunto. Dicho de otro modo, pasar del lema «Yo nado, tú te hundes; yo me hundo, tú nadas» al «Nos hundimos o nadamos juntos» (Johnson, Johnson y Holubec, 1994).

A partir de los aproximadamente 600 estudios experimentales y más de 100 estudios correlativos sobre aprendizaje cooperativo ejecutados desde 1898, resalta la conveniencia del uso de esta metodología (Johnson y Johnson, 1989). Los resultados obtenidos pueden clasificarse como se muestra en la **Figura 3**, y según Johnson *et al.* (1994), se destacan las siguientes categorías principales:

- *Mayor esfuerzo por lograr un buen desempeño*

Mejora en el rendimiento y en la productividad por parte de los alumnos (independientemente del rendimiento inicial), así como mayor retención a

largo plazo, más motivación, un nivel superior de razonamiento y pensamiento crítico.

- *Relaciones más positivas entre los alumnos*

Se incrementan el espíritu de equipo, las relaciones solidarias, el respaldo personal y escolar, la valoración de la diversidad y la cohesión.

- *Mayor salud mental*

Se manifiesta un ajuste psicológico general y un fortalecimiento del «yo», así como se mejora el desarrollo social, la integración, la autoestima, el sentido de la propia identidad y la capacidad de afrontar la adversidad y las tensiones.



Figura 3. Resultados del trabajo cooperativo. (Johnson et al. 1994)

Como se recoge en Morales y Landa (2004), en el ABP el aprendizaje resulta fundamentalmente de la colaboración y la cooperación. Teniendo en cuenta que esta estrategia se apoya en la teoría constructivista del aprendizaje (Barrel, 1999), citamos a Lev Vygotski (1896-1934) (Álvarez y Del Río, 2000 citado en Morales y Landa, 2004), para el cual el aprendizaje es una actividad social que resulta de la confluencia de factores sociales, como la interacción comunicativa entre pares. Para el psicólogo ruso, el aprendizaje es más eficaz cuando se intercambian ideas con los compañeros y todos colaboran o aportan algo para la resolución del problema. Según su concepto de «Zona de Desarrollo Próximo», el ABP y el aprendizaje cooperativo permitirían al alumno partir de su nivel de desarrollo efectivo y hacerlo progresar a través de la zona de desarrollo próximo, ampliándola y generando eventualmente otras nuevas (Álvarez y Del Río, 2000 citado en Morales y Landa, 2004).

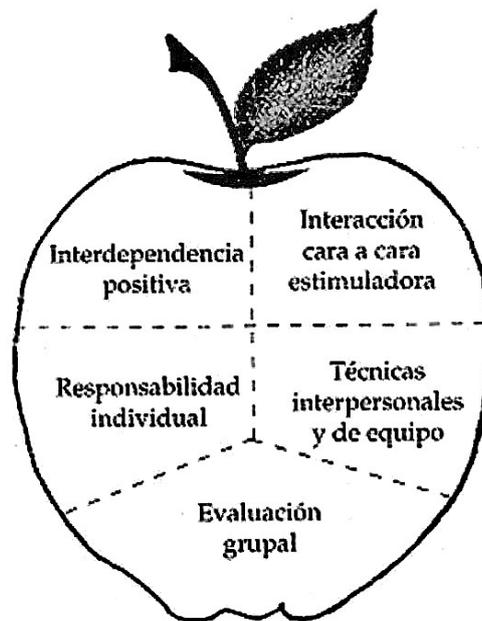


Figura 4. Los componentes esenciales del aprendizaje cooperativo.

(Johnson *et al.* 1994)

Una buena categorización de los elementos básicos que conforman el aprendizaje cooperativo la podemos encontrar en Johnson *et al.* (1994). Tal como se muestra en la **Figura 4**, estos componentes esenciales son:

- *Interdependencia positiva*

Esto es, la percepción de cada miembro del grupo de que no puede tener éxito sin que los demás lo tengan también. Los profesores pueden estructurar esta interdependencia estableciendo un objetivo compartido, recompensas grupales, recursos compartidos y papeles asignados.

- *Responsabilidad individual*

La idea de que cada miembro del grupo cuenta y su esfuerzo se necesita para que el conjunto tenga éxito. No hay posibilidad de ir por cuenta propia y hay que fijarse en los miembros que necesitan más ayuda para asegurar el correcto funcionamiento del conjunto.

- *Interacción fomentadora cara a cara*

Se refiere a que los miembros del grupo promuevan el aprendizaje de los demás ayudando, compartiendo y animando los esfuerzos de aprender.

- *Habilidades interpersonales y de pequeño grupo*

Esto es, las destrezas cooperativas que aumentarán la efectividad del grupo y mejorarán los resultados. Se incluyen comportamientos como el liderazgo, la construcción de confianza, la comunicación, la toma de decisiones y la resolución de conflictos.

- *Observar (seguir), intervenir y procesar*

Los miembros del grupo han de ser capaces de reflexionar sobre la consecución de los objetivos, sobre las interrelaciones entre miembros o sobre la planificación de nuevas y mejores maneras para ser más eficaces. Han de ser conscientes de cómo está funcionando el grupo.

Adicionalmente, y según el tiempo de vida de los grupos, podemos distinguir entre varios tipos de aprendizaje cooperativo (Johnson *et al.* 1994):

- *Grupos Formales de Aprendizaje Cooperativo*

Son grupos de trabajo que duran una o varias sesiones, con el fin de lograr objetivos de aprendizaje compartidos y para completar juntos tareas o trabajos específicos.

- *Grupos Informales de Aprendizaje Cooperativo*

Son grupos temporales que duran únicamente una sesión, con el fin de lograr objetivos de aprendizaje compartidos.

- *Grupos Cooperativos de Base*

Son grupos de trabajo a largo plazo, que duran al menos un semestre o año, con miembros estables cuya responsabilidad se extiende, puesto que deben dar apoyo, ánimo y ayuda a los otros miembros para progresar juntos académicamente.

2.4. Recursos TIC

El uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la presente propuesta se justifica por diversas razones. Por un lado, la inclusión de las TIC en el aula a raíz de un planteamiento pedagógico que busque mejorar el rendimiento de los estudiantes y su proceso de enseñanza-aprendizaje. Por otro, la alfabetización digital: usar el enfoque CTS nos empuja a acercar a los alumnos a experiencias similares a las que se viven en la realidad. Por tanto, el uso de las TIC en este caso puede verse como un cierto símil hacia las tareas habituales que los científicos llevan a cabo en sus

investigaciones o trabajos: desde el uso de herramientas ofimáticas para la redacción de textos hasta la programación de complejas simulaciones.

Las TIC son «un conjunto de técnicas, desarrollos y dispositivos avanzados que integran funcionalidades de almacenamiento, procesamiento y transmisión de datos» (Palomar, 2009, p. 1). Estas pueden ser medios audiovisuales (vídeo, radio, televisión, cine...), medios informáticos (ordenadores, periféricos, software, hardware, cámaras digitales...) o medios telemáticos comunicacionales (redes, internet...). Su uso en el ámbito educativo debe estar regulado y tanto alumnos como docentes deben aprender a usarlas para obtener un mayor rendimiento. En caso contrario, como se concluye en Palomar (2000), pueden incluso deteriorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

De hecho, la integración idónea de las TIC en los centros como herramienta al servicio de los objetivos pedagógicos depende de múltiples factores, como pueden ser las infraestructuras físicas, los programas y recursos disponibles o la formación del docente (Aznar, Cáceres y Hinojo, 2005). Sobre la formación y perfeccionamiento del profesorado en el uso de las TIC, según Ballesta (1996, citado en Aznar *et al.*, 2005) se debe pretender alcanzar lo siguiente:

- Formación para el uso crítico de las nuevas tecnologías
- Desarrollar la motivación en el alumno
- Aprendizaje de situaciones reales
- Diseño de modelos de experimentación
- Realización de propuestas didácticas en el aula
- Ampliación de tratamientos interdisciplinares

Lo cierto es que estas herramientas se han incorporado a los centros tras una revolución digital. Aunque esta aún es reciente, en el curso 2014-15 el número medio de alumnos por ordenador en los centros escolares públicos era ya tan solo de 2.8. Además, el 86.8% de los centros disponía de wifi y el 99.9% tenía conexión a Internet (siendo un 25.5% conexiones de banda ancha) (MECD, 2016, 12 de agosto).

Con todo esto, podemos hablar de las ventajas y desventajas de las TIC. En el artículo de Palomar (2000) se propone esta valoración diferenciando entre las distintas perspectivas de los protagonistas del proceso de enseñanza-aprendizaje. Esto es, desde la perspectiva del propio aprendizaje, desde la del alumnado y desde la del profesorado (**Tabla 1**).

En resumen, el éxito no está garantizado con el uso de las TIC, pero son una buena herramienta para optimizar el aprendizaje si su manejo por parte de profesores y

alumnos sigue unas ciertas pautas que permitan potenciar las ventajas que hemos visto. En nuestro caso, suponen también una excusa para la alfabetización digital.

Tabla 1. *Ventajas e inconvenientes de las TIC.*

Ventajas	Inconvenientes
Desde la perspectiva del aprendizaje	
<ul style="list-style-type: none"> - Interés. Motivación. - Interacción. Continua actividad intelectual. - Desarrollo de la iniciativa - Aprendizaje a partir de errores - Mayor comunicación entre profesor y alumno - Aprendizaje cooperativo - Alto grado de interdisciplinariedad - Alfabetización digital y audiovisual - Habilidades de búsqueda/selección de información - Mejora de competencias de expresión/creatividad - Fácil acceso a información de todo tipo - Visualización de simulaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Distracciones - Dispersión - Pérdida de tiempo - Informaciones no fiables - Aprendizajes incompletos y superficiales - Diálogos muy rígidos - Visión parcial de la realidad - Ansiedad - Dependencia de los demás
Desde la perspectiva del alumnado	
<ul style="list-style-type: none"> - Atractivo - Acceso a recursos educativos y entornos de aprendizaje - Personalización de los procesos de enseñanza-aprendizaje - Autoevaluación - Mayor proximidad con el profesorado - Aprender a aprender - Instrumentos para el proceso de la información - Ayudas para la educación especial - Ampliación de entorno vital. Más contactos. - Más compañerismo y colaboración 	<ul style="list-style-type: none"> - Adicción - Aislamiento - Cansancio visual y otros problemas - Inversión de tiempo - Sensación de desbordamiento - Comportamientos reprochables - Falta de conocimiento de los lenguajes - Recursos educativos con poca potencialidad didáctica
Desde la perspectiva del profesorado	
<ul style="list-style-type: none"> - Fuente de recursos educativos - Individualización. Tratamiento de la diversidad. - Facilidad para la realización de agrupamientos - Liberan al profesor de trabajos repetitivos - Constituyen buen medio de investigación en el aula - Contactos con otros profesores y centros 	<ul style="list-style-type: none"> - Estrés - Desarrollo estrategias de esfuerzo mínimo - Desfases respecto a otras actividades - Problemas de mantenimiento de los ordenadores - Necesidad de auto reciclaje continua - Exigen una mayor dedicación - Supeditación a los sistemas informáticos

Fuente: Adaptado de Palomar (2000)

2.5. Aprendizaje significativo

Lo que buscamos con la aplicación de la estrategia ABP, el trabajo cooperativo, el enfoque CTS y los recursos TIC es alejarnos de las metodologías meramente expositivas, que basan su funcionamiento en el aprendizaje memorístico. En contraposición a este concepto, donde el almacenaje y recuperación de la información en la memoria depende directamente de la calidad de la codificación utilizada para clasificarla, la psicología cognitiva moderna pone de manifiesto la naturaleza constructivista del aprendizaje y señala que una de las características más importantes de la memoria es su estructura asociativa (Morales y Landa, 2004). El conocimiento está estructurado en redes de conceptos relacionados, llamadas «redes semánticas», y el aprendizaje se produce cuando nueva información se acopla a las redes existentes. Siendo así, depende de este proceso el que nueva información pueda ser recuperada y utilizada con menor esfuerzo para su aplicación en nuevos contextos.

En este sentido, la metodología ABP promueve un enfoque de aprendizaje profundo y refuerza la cognición situada, pues permite plantear problemas de alta relevancia cultural (uso de datos reales, casos de la vida cotidiana...) y generar situaciones de actividad social-interacción (análisis colaborativo, debates...). Por tanto, el docente será pieza clave para fomentar este enfoque, pues deberá presentar y aclarar los objetivos al inicio de la actividad, explicar y anticipar las demandas de las tareas, así como presentar y explicar las diferentes formas de evaluación.

Según Glaser (1991, citado en Morales y Landa, 2004), los factores sociales y contextuales también tienen influencia sobre el aprendizaje, por lo que promover el trabajo colaborativo hace que los estudiantes puedan confrontar entre ellos sus conocimientos y planteamientos. Al plantear diferentes puntos de vista sobre la resolución de un mismo problema, los estudiantes se sienten estimulados para seguir planteándose nuevos interrogantes.

En resumen, y según Morales y Landa (2004), adoptar el ABP puede conllevar efectos claramente positivos en el aprendizaje de los estudiantes, facilitando o promoviendo aspectos que son esenciales para lograr aprendizajes significativos. Por mencionar algunos:

- Facilita la comprensión de nuevos conocimientos
- Promueve la disposición afectiva y la motivación
- Provoca conflictos cognitivos en los estudiantes
- Se basa en la colaboración y la cooperación

3. Propuesta de intervención

A continuación, se desarrollará una propuesta innovadora de intervención didáctica en respuesta al problema planteado. La metodología elegida para la unidad en cuestión es el *Aprendizaje Basado en Problemas* (ABP), que requiere a su vez de trabajo colaborativo, además del uso de recursos TIC. Los desafíos planteados durante la unidad contarán con un enfoque *Ciencia-Tecnología-Sociedad* (CTS), presentando a los alumnos una alta similitud con la vida real y otorgando así mayor grado de motivación.

La aplicación de la propuesta debe estar contextualizada, por lo que será trabajada en el marco de un cierto centro escolar, localizado en una cierta Comunidad Autónoma, población y barrio. Esto influirá en el marco legislativo vigente, así como en los recursos disponibles, en los contenidos y en las competencias a cubrir, etc. Todos estos elementos serán especificados y trabajados, uno por uno, en los siguientes apartados.

3.1. Contextualización de la propuesta

La presente unidad didáctica se ha diseñado con el objetivo de poder ser aplicada en el ámbito de una escuela concertada y religiosa del centro de la ciudad de Barcelona, en Cataluña. Concretamente, el centro estaría situado en el barrio de la derecha del Ensanche, por lo que el nivel socioeconómico de la zona es medio-alto. Los alumnos escolarizados en este centro provienen, en general, de familias estructuradas que pueden hacer frente, en la mayoría de los casos, al desembolso que supone el material y la ropa escolar que se exige desde Dirección. Hay pocos casos de alumnos en riesgo de exclusión o con problemas económicos, aunque sí existen casos de inmigración, mayoritariamente de niños y niñas que provienen de Suramérica o Marruecos. Por otro lado, es común que las familias se involucren en el aprendizaje de sus hijos y colaboren con la escuela. Desde la *Asociación de Madres, Padres y Alumnos* (AMPA), se trabaja para la organización de extraescolares, eventos, servicios necesarios, etc. La junta de la AMPA se reúne mensualmente para tratar cualquier cuestión, mientras que los padres que pagan cuota se reúnen en asamblea anual para revisar las cuentas y los temas que se crean convenientes.

En el centro estudian unos 1.500 alumnos aproximadamente, desde P3 hasta Bachillerato, que se reparten en 4 líneas por curso hasta Educación Secundaria y en 3 líneas por curso en Bachillerato. El número de alumnos por clase suele ser de 20-25 y hay un total de 94 docentes.

El centro cuenta con un proyecto educativo (PEC) que se fundamenta en la pluralidad y la diversidad, así como también en la atención personalizada y en el hecho de entender la educación como un proyecto en común con las familias. Se apuesta por la innovación educativa y se trabaja bajo el marco de un paradigma educativo basado en la investigación por proyectos, las dinámicas colaborativas, el uso de recursos digitales, los aprendizajes competenciales y la educación emocional. Sin embargo, el uso de metodologías innovadoras se diluye hacia la etapa del Bachillerato, siendo más evidentes en la etapa de Primaria y ESO. La línea pedagógica del departamento de ciencias en Bachillerato se basa más bien en el modelo tradicional o en metodologías expositivas (cuando se plantean con detenimiento las ideas preconcebidas con anterioridad por parte de los alumnos), con el uso residual de recursos TIC. El centro, sin embargo, permite el uso de los dispositivos móviles y se intentan programar actividades para intentar sacarle partido. En el primer ciclo de ESO, por ejemplo, cada alumno usa su propio ordenador en el aula.

Esta unidad didáctica sobre «Interacción gravitatoria» va dirigida al grupo A de 2º de Bachillerato de la modalidad de Ciencias y Tecnología. La clase la conforman 19 alumnos: 11 chicos y 8 chicas. No hay casos alarmantes, pero un par de alumnas muestran dificultad para la concentración y el estudio, llegando en ocasiones a alterar el orden de la clase. Son chicas de perfil muy carismático y con ímpetu, por lo que pueden arrastrar a los compañeros. Sin embargo, no presentan dificultades a la hora de aprender y su rendimiento académico es notable. Por otro lado, varios alumnos (2 chicos y una chica) obtuvieron calificaciones especialmente bajas en la asignatura de Física y Química de 1º de Bachillerato, mostrando dificultades notables en la asimilación de conceptos teóricos abstractos.

El bloque relacionado a la interacción gravitatoria suele impartirse al inicio de curso, casi al empezar el primer trimestre, por lo que suele darse relajadamente y con comodidad. Toda la asignatura se imparte en catalán y las clases duran 55 minutos.

3.1.1. Marco legislativo

Dado el contexto descrito en el apartado anterior, la primera directriz legislativa para la definición de los objetivos educativos viene dada a nivel europeo. Entre las prioridades de la Unión Europea, encontramos el Marco estratégico Educación y Formación 2020 (ET2020) (MECD, 2015) para la cooperación europea en el ámbito de la educación y la formación. El objetivo de este marco es el de apoyar el desarrollo de los sistemas de educación y formación de los Estados miembros, que deben caracterizarse por proporcionar a todos los ciudadanos los medios necesarios para

que exploten su potencial, garantizando así la prosperidad económica sostenible y la empleabilidad.

A nivel estatal, la legislación educativa en vigor al redactar este documento para la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato es la LOMCE (Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre), que modifica – no deroga – la anterior ley educativa, la LOE (Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo). En cuanto al Bachillerato, las novedades más señaladas son el cambio de modalidades, la reestructuración del currículo y la eliminación de las pruebas de acceso a la Universidad (PAU), sustituyéndolas por la evaluación final de Bachillerato que otorga el título correspondiente e indispensable para el acceso a los estudios universitarios de Grado. Aunque bien es cierto que el calendario de implantación de esta ley se amplió como medida urgente a través del art. 11733 RDL 5/2016, de 9 de diciembre, no deja de ser la ley establecida a día de hoy. Así pues, la concreción y el desarrollo del currículo competencial se debería regir entonces por las siguientes leyes y decretos que se citan a continuación:

- Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de *Educación* (Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo)
- Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, *para la mejora de la calidad educativa* (Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre)
- Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, *por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas* (art. 19184 RD 1467/2007, de 2 de noviembre)
- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, *por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. (art. 37 RD 1105/2014, de 26 de diciembre)

A nivel autonómico, sin embargo, encontramos una situación compleja, porque tras la aprobación de la Ley Educativa de Cataluña por el Parlamento de Cataluña (Ley 12/2009, de 10 de julio) – y aunque esta sigue vigente – se presentó un recurso de inconstitucionalidad ante el Tribunal Constitucional de España (R n°8741-2009, de 6 de noviembre), que fue aceptado a trámite y a día de hoy aún sigue pendiente de resolución.

En todo caso, los cambios que introduce la LOMCE no se han aplicado todavía en el Bachillerato. Así pues, en el curso 2018-19 aún se llevan a cabo las pruebas de acceso a la Universidad (PAU), y el currículo, tanto a nivel de contenidos como a nivel competencial, sigue aún las directrices de la LOE. La normativa en vigor, por tanto, sería la que sigue a continuación:

- Llei 12/2009, de 10 de juliol, *d'educació*. (Ley 12/2009, de 10 de julio)
- Decret 142/2008, de 15 de juliol, *pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments del batxillerat*. (art. 59024 D 142/2008, de 15 de julio)
- Resolució ENS/1543/2013, de 10 de juliol, *de l'atenció educativa a l'alumnat amb altes capacitats*. (RDE, de 10 de julio)
- Resolució ENS/1544/2013, de 10 de juliol, *de l'atenció educativa a l'alumnat amb trastorns de l'aprenentatge*. (RDE, de 10 de julio)

El decreto que establece la ordenación de las enseñanzas del Bachillerato en Cataluña, pues, se ciñe a las pautas marcadas por la LOE. Dada esta situación, la propuesta didáctica de este trabajo seguirá también la línea marcada por esta Ley Educativa.

3.2. Contenidos, objetivos y competencias

El objetivo primordial de esta propuesta es la de formar alumnos competentes, activando al mismo tiempo conocimientos, habilidades y actitudes. Es decir, queremos que los estudiantes sean capaces de utilizar lo que han aprendido para resolver problemas de la vida. Por ello, los aprendizajes deben concretarse de modo funcional y significativo, atribuyendo siempre un sentido a aquello que se aprende. Es lógico, pues, plantear no solo los contenidos y objetivos a cubrir, sino también las competencias – académicas y para la vida – que se han de desarrollar en la unidad.

Contenidos

En cuanto a los contenidos, estos vienen predefinidos a nivel estatal y autonómico, a partir de art. 59024 D 142/2008, de 15 de julio. Aunque el decreto en vigor a nivel autonómico se basa en la LOE (2006), es interesante comparar estos contenidos con los que se establecen a nivel estatal mediante la LOMCE (2013). De hecho, en esta última se añaden – junto a los contenidos y a los criterios de evaluación – una de las novedades más destacadas en el currículo: los estándares de aprendizaje evaluables. En la **Tabla 7** (véase **Anexo A**) se recogen los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables que define la LOMCE para el bloque relacionado con la interacción gravitatoria en la asignatura de Física de 2º de Bachillerato. Estos contrastan con los contenidos y los criterios de evaluación de la LOE recogidos en la **Tabla 8** (véase **Anexo B**) para el mismo bloque temático.

En este punto, es importante indicar que se espera que los alumnos de 2º de Bachillerato de la modalidad de Ciencias y Tecnología que también cursan la asignatura de Física demuestren ya al inicio un grado competencial mínimo en el uso de ciertas herramientas matemáticas, como podrían ser algunas nociones básicas en

cálculo vectorial, amplia experiencia e ideas prácticas sobre la representación gráfica de funciones y el cálculo de derivadas e integrales. Existe, sin duda, una gran interrelación entre los contenidos de esta asignatura y los que se imparten en la asignatura de Matemáticas. En cuanto a contenidos relacionados a la Física, se espera que ya conozcan las leyes de Kepler y la ley de Gravitación universal, la fórmula del trabajo y la de momento angular de un cuerpo. En todo caso, la propia metodología ABP permitirá a los alumnos identificar sus propias debilidades y así trabajarlas o potenciarlas, ya sea individualmente o con la ayuda del grupo.

Por otro lado, se prevén posibles dificultades a causa de la complejidad de algunos conceptos abstractos, como puede ser el concepto de «campo», y es posible que haya que recurrir a actividades o sesiones adicionales de refuerzo, donde el docente experimentado pueda aportar su propia presentación de estos contenidos, como soporte adicional a la bibliografía a la que los alumnos puedan estar recurriendo.

En nuestra unidad se trabajarán principalmente los contenidos que se muestran a continuación:

- Descripción del Sistema Solar visto desde la Tierra. Leyes de Kepler.
- Ley de Gravitación Universal de Newton.
- Introducción al concepto de campo. Representación de las líneas de campo y las superficies equipotenciales. Fuerzas centrales, momento angular y campos de fuerzas conservativos.
- Intensidad del campo gravitatorio y su variación alrededor de un astro.
- Cálculo de la fuerza gravitatoria sobre un cuerpo en la superficie y en diferentes alturas sobre la Tierra y de otros astros.
- Relación de identidad entre fuerza gravitatoria y fuerza centrípeta en las órbitas (supuestas circulares) de planetas y satélites. Aplicación al cálculo de parámetros orbitales para órbitas circulares: periodos, velocidades y radios.
- Energía potencial gravitatoria.
- Aplicación de la ley de Gauss al campo gravitatorio.
- Determinación de la energía necesaria para emplazar un satélite en órbita circular o enviarlo fuera del campo gravitatorio. Velocidad de escape.
- Potencial gravitatorio. Diferencia de potencial.
- Caracterización de naves espaciales y satélites artificiales. Aplicación en campos diversos. Estudio, mediante simulaciones, de diferentes parámetros orbitales de un satélite artificial. Análisis de diferentes tipos de órbitas en función de la energía mecánica.

Objetivos

En esta propuesta se pretenden conseguir una serie de objetivos transversales o de carácter general, relacionados con la etapa educativa, el curso o la asignatura, y otros objetivos más específicos, de carácter curricular, relacionados a la materia en sí misma y al bloque de contenidos de la unidad.

Objetivos generales

Los objetivos a nivel de etapa educativa derivan de las capacidades que el Bachillerato ha de contribuir a desarrollar. Estos objetivos contemplan capacidades de tipo cognitivo, afectivo, motor, de relación interpersonal y de inserción, y de actuación sociocultural. Podemos resaltar la consecución de las siguientes capacidades:

1. Ejercer la ciudadanía democrática, desde una perspectiva global, y adquirir una conciencia cívica responsable, inspirada por los valores del marco constitucional y por los derechos humanos.
2. Consolidar una madurez personal y social que les permita actuar de forma responsable y autónoma, así como desarrollar el espíritu crítico.
3. Prever y resolver pacíficamente los conflictos personales, familiares y sociales.
4. Fomentar la igualdad efectiva de derechos y oportunidades entre hombres y mujeres, analizando y valorando críticamente las desigualdades y las discriminaciones existentes, e impulsando la no-discriminación hacia las personas por cualquier condición o circunstancia personal o social.
5. Consolidar los hábitos de lectura, estudio y disciplina, como condiciones necesarias para el aprovechamiento eficaz del aprendizaje y como medio para el desarrollo personal.
6. Dominar, tanto en la expresión oral como en la escrita, dos de las lenguas oficiales de Cataluña: el castellano y el catalán.
7. Utilizar con solvencia y responsabilidad las tecnologías de la información y la comunicación.
8. Acceder a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales.
9. Comprender los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos. Conocer y valorar de forma crítica la contribución de la ciencia y la tecnología en el cambio de las condiciones de vida, y también reforzar la sensibilidad y el respeto hacia el medio ambiente.
10. Consolidar el espíritu emprendedor con actitudes de creatividad, flexibilidad, iniciativa, trabajo en equipo, confianza en uno mismo y sentido crítico.

En particular, el desarrollo de la asignatura de Física contribuirá a que los alumnos adquieran las siguientes capacidades:

1. Comprender los conceptos, leyes, teorías y modelos más importantes y generales de la Física, que les permita disponer de una formación global científica y desarrollar estudios posteriores más específicos.
2. Aplicar los conceptos, leyes, teorías y modelos a situaciones reales y cotidianas.
3. Analizar críticamente hipótesis y teorías contrapuestas que les permita desarrollar el pensamiento crítico y valorar las aportaciones al desarrollo de la Física.
4. Utilizar las estrategias y destrezas propias de la investigación científica (plantear problemas, formular y contrastar hipótesis, planificar diseños experimentales, etc.) y los procedimientos propios de la Física para resolver problemas, realizar trabajos prácticos y, en general, explorar situaciones y fenómenos desconocidos para ellos.
5. Mostrar actitudes científicas como la búsqueda de información exhaustiva, la capacidad crítica, la necesidad de verificación de los hechos, cuestionar lo que parece obvio y la receptividad ante nuevas ideas.
6. Comprender el sentido de las teorías y modelos físicos como una explicación de los fenómenos naturales.
7. Desarrollar actitudes positivas hacia la Física y su aprendizaje, así como demostrar interés y auto confianza cuando al realizar actividades relacionadas.
8. Entender que el desarrollo de la Física supone un proceso cambiante y dinámico, mostrando una actitud flexible y abierta frente a opiniones diversas.

Objetivos específicos

Concretando para el bloque de contenidos a desarrollar, al finalizar la unidad didáctica los alumnos deben ser capaces de:

1. Comparar las diferentes respuestas que se han dado a lo largo de la historia para la posición de la Tierra en el Universo.
2. Analizar situaciones en las que intervienen fenómenos físicos utilizando los métodos y las técnicas propios del trabajo científico.
3. Utilizar los sistemas informatizados de análisis y captación de datos para la reproducción e interpretación de fenómenos físicos.
4. Obtener y analizar información sobre fenómenos explicables mediante la física, así como saber argumentar y comunicar sobre estos fenómenos.

5. Comprender que los conceptos, modelos y teorías de la Física evolucionan y cambian con el tiempo, así como el poder y las limitaciones del conocimiento científico.
6. Utilizar las leyes de la gravitación para determinar distancias, órbitas, periodos, velocidades y masas planetarias.
7. Determinar la relación entre la intensidad del campo gravitatorio y la aceleración de la caída libre.
8. Analizar los distintos tipos de movimientos posibles de un satélite según su energía mecánica total.
9. Describir la interacción gravitatoria mediante los conceptos de fuerza, intensidad, energía potencial y, gráficamente, mediante los conceptos de líneas de fuerza y superficies equipotenciales.

Competencias

Por último, cabe destacar que en el diseño curricular de la LOMCE y la LOE, y como propuesta realizada por la Unión Europea, también se incluye la concreción del aprendizaje por competencias, es decir, el conjunto de recursos personales (habilidades, actitudes, conocimientos y experiencias) que los alumnos deben desarrollar durante la etapa de Educación Secundaria y Bachillerato para resolver de forma adecuada una cierta tarea en un contexto determinado. Con ello, se busca una enseñanza que orienta sus fines hacia la formación integral de los estudiantes, y la presente unidad didáctica debe cubrir el desarrollo de estas competencias.

La finalidad del aprendizaje por competencias no es otro que el de lograr la realización personal de los alumnos, para que ejerzan la ciudadanía activa y se incorporen a la vida adulta satisfactoriamente, siendo capaces de desarrollar un aprendizaje permanente a lo largo de sus vidas.

De cualquier modo, también hay discrepancias entre las competencias recogidas en la LOMCE – que considera que existen 7 competencias «clave» – y en la LOE, en que se basa este trabajo – donde se contemplan 8 competencias «básicas» –. Los problemas planteados tratarán de integrar el desarrollo de algunas de estas competencias, que también se especifican en art. 59024 D 142/2008, de 15 de julio:

- **CCL:** *Competencia en Comunicación Lingüística*

Se persigue el dominio de la lengua oral y escrita en varios contextos. Esta competencia se trabajará extensivamente en todos los ámbitos de la unidad, desde la comunicación oral entre miembros del grupo, hacia el grupo clase y hacia el profesor, como también en la redacción de informes y pruebas. Se

valora la adaptación del lenguaje y de la expresión no verbal en cualquier participación.

- **CM:** *Competencia Matemática*

Se refiere a la capacidad de aplicar destrezas y actitudes que permiten razonar matemáticamente, comprender una argumentación matemática y expresarse o comunicarse en el lenguaje matemático. Esta competencia será ampliamente cubierta y evaluada mediante cualquiera de las actividades programadas.

- **CIMF:** *Competencia en el Conocimiento y la Interacción con el Mundo Físico*

Es la habilidad para interactuar con el mundo físico y supone la aplicación y desarrollo del pensamiento científico-técnico para interpretar la información recibida y tomar decisiones autónomas. Se valora el uso responsable de los recursos naturales, el cuidado del medio ambiente, el consumo racional y responsable y la protección de la salud individual y colectiva. Esta unidad didáctica va muy enfocada, precisamente, al entendimiento del mundo natural, por lo que los razonamientos y reflexiones de los alumnos darán cuenta del grado de consecución de esta competencia.

- **TICD:** *Tratamiento de la Información y Competencia Digital*

Esta competencia supone saber utilizar normalmente los recursos tecnológicos para resolver problemas reales, persiguiendo la autonomía, la eficacia, la responsabilidad, el espíritu crítico y la reflexión. La metodología de la unidad permitirá evaluar esta competencia en la selección, valoración y uso de la información y sus fuentes, así como los diferentes recursos tecnológicos que los alumnos tendrán a su alcance.

- **CSC:** *Competencia Social y Ciudadana*

Se persigue comprender la realidad social en que se vive y emplear el juicio ético basado en valores y en prácticas democráticas para afrontar la convivencia y los conflictos, manteniendo actitudes constructivas, solidarias y responsables. El trabajo cooperativo, en este caso, representa una inmejorable herramienta de trabajo y evaluación para esta competencia.

- **CAA:** *Competencia para Aprender a Aprender*

Esta competencia supone saber iniciarse en el aprendizaje, ser capaz de continuar aprendiendo con eficacia y autonomía, tener el control de las propias capacidades y conocimientos, manejar de forma eficiente recursos y

técnicas de trabajo individual y tener la capacidad de cooperar con los demás y autoevaluarse.

- **AIP: Autonomía e Iniciativa Personal**

Se refiere a la capacidad de imaginar, emprender, desarrollar y evaluar acciones y proyectos, tanto individuales y colectivos. La metodología elegida para esta unidad permitirá a los alumnos trabajar la creatividad, su confianza, la responsabilidad, el sentido crítico y la cooperación.

Nótese que se ha excluido la competencia Cultural y Artística (CCA), por no poder trabajarse ni poder cubrirse con garantías en la propuesta de este trabajo.

3.3. Metodología

La metodología escogida para abordar la unidad didáctica es el *Aprendizaje Basado en Problemas* (ABP), que a su vez implica el desarrollo del *Aprendizaje Cooperativo* (AC) mediante trabajo colaborativo en grupos reducidos. Además, se subraya el enfoque *Ciencia-Tecnología-Sociedad* (CTS) para la contextualización de los problemas planteados. Todo ello, con el uso activo de herramientas de *Tecnología, Información y Comunicación* (TIC), con el objetivo de conseguir no solo una alfabetización científica, sino también digital.

En este contexto, la mayor parte del tiempo en las sesiones se dedicará al trabajo colectivo: análisis y definición del problema, búsqueda de información, redacción de informes, discusión, reflexión y debate. Un menor porcentaje del tiempo estará dedicado a la interacción del grupo-clase con el profesor: definición del modo de trabajo y grupos, definición del proceso de evaluación, planteamiento de los problemas, presentación de conceptos clave, aclaración de dudas, resolución de problemas y revisión.

Adicionalmente, alguna sesión se dedicará exclusivamente a ejecutar alguno de los procesos de evaluación, como presentaciones orales o pruebas escritas, donde los alumnos deberán ser capaces de aplicar todo lo aprendido a nuevas situaciones.

3.4. Temporalización

Se propone programar la ejecución de los problemas y las actividades – que se detallarán en la sección 3.6 – a lo largo de 12 sesiones, de 55 minutos por sesión. La **Tabla 2** muestra la temporalización de las actividades, incluyendo las dedicadas a la evaluación.

Tabla 2. *Temporalización de las actividades.*

Problema	Sesión	Tiempo (min)	Actividad		
-	1	5	A. Introducción a la Unidad Didáctica		
		5	B. Introducción a la metodología ABP		
		5	C. Contenidos, objetivos y competencias		
		5	D. Herramientas y criterios de evaluación		
		5	E. Formación de grupos		
		5	Planteamiento del problema #1		
		20	Análisis y desarrollo del problema #1		
		5	Cuestiones y aclaraciones Cierre de sesión		
		#1	2	15	Resolución del problema #1
				20	Redacción de informe correspondiente al problema #1
15	Presentaciones orales y discusión				
5	Entrega de informe correspondiente al problema #1 Cierre de sesión				
3	5		Planteamiento del problema #2		
	5		Aclaraciones sobre el uso de las hojas de cálculo		
	40		Análisis y desarrollo del problema #2		
	5		Cuestiones y aclaraciones Cierre de sesión		
#2	4	50	Resolución del problema #2		
		5	Cuestiones y aclaraciones Cierre de sesión		
	5	15	Resolución del problema #2		
		20	Redacción de informe correspondiente al problema #2		
		15	Presentaciones orales y discusión		
		5	Entrega de informe correspondiente al problema #2 Cierre de sesión		
	#3	6	5	Planteamiento del problema #3	
			30	Análisis y desarrollo del problema #3	
15			Resolución del problema #3		
5			Cuestiones y aclaraciones		

			Cierre de sesión
		15	Resolución del problema #3
		20	Redacción de informe correspondiente al problema #3
	7	15	Presentaciones orales y discusión
		5	Entrega de informe correspondiente al problema #3 Cierre de sesión
-	8	45	Prueba escrita. Control «con apuntes».
		10	Corrección del control
		5	Planteamiento del problema #4
		30	Análisis y desarrollo del problema #4
	9	15	Resolución del problema #4
		5	Cuestiones y aclaraciones Cierre de sesión
#4		15	Resolución del problema #4
		20	Redacción de informe correspondiente al problema #4
	10	15	Presentaciones orales y discusión
		5	Entrega de informe correspondiente al problema #4 Cierre de sesión
	11	55	Prueba escrita. Control final sin apuntes.
-		30	Entrega y corrección de examen
	12	20	Evaluación de la propuesta

Fuente: Elaboración propia

3.5. Recursos

Espacios

Toda la unidad didáctica tiene lugar en el aula, por lo que es el único espacio definido para su ejecución. El mobiliario – mesas y sillas – se colocará libremente de manera óptima en cada sesión para trabajar cada una de las actividades programadas para la misma.

Recursos materiales

Respecto a los recursos materiales necesarios para llevar a cabo las actividades propuestas y teniendo en cuenta lo disponible en el centro y las aulas, usaremos:

Aula

- Pizarra
- Proyector conectado al ordenador del aula
- Ordenador de aula con conexión a internet
- Ordenadores portátiles con conexión wifi para los alumnos, que pueden pedirse con antelación para las sesiones en que sea necesario (el centro dispone de un armario con unos 40 ordenadores tipo *Notebook*)

Software

Los ordenadores de los que se dispone deben contar con lo siguiente:

- Navegador (por ejemplo, *Google Chrome*), para el uso de:
 - Buscadores de información (por ejemplo, *Google* o *Wikipedia*)
 - Intranet para publicar tareas, información o calificaciones (por ejemplo, *Google Classroom*)
 - Herramienta de trabajo colaborativo (por ejemplo, *Google Drive*)
 - *Google Docs*
 - *Google Sheets*
 - *Google Slides*
- *Dropbox* (opcional, en sustitución de *Google Drive*)
- *Microsoft Word* (opcional, en sustitución de *Google Docs*)
- *Microsoft Excel* (opcional, en sustitución de *Google Sheets*)
- *Microsoft PowerPoint* (opcional, en sustitución de *Google Slides*)
- Lector de archivos PDF (por ejemplo, *Adobe Reader*)

Fuentes de información

Además de la búsqueda de información a través de internet, el docente puede aportar material adicional de calidad contrastada (libros de texto, artículos, etc.).

3.6. Descripción y secuencia de las actividades

A lo largo de este apartado se describirán las diferentes actividades a ejecutar en las sesiones programadas para nuestra unidad didáctica, así como los contenidos y competencias que se quieren desarrollar para cada una e indicando también los recursos necesarios para llevarlas a cabo.

A. Introducción a la Unidad Didáctica

Idealmente, el inicio de la unidad didáctica se debe programar para el comienzo de una nueva sesión. Se tomarían pocos minutos, pero se debe contar con este tiempo

para cerrar la anterior unidad y presentar la programación de la nueva. Ha de quedar claro que se van a estudiar nuevos conceptos teóricos – teorías, leyes, etc. – que tratan de describir unos fenómenos muy concretos que se dan en nuestro Universo. En particular, todos aquellos fenómenos donde hay involucrada una gran cantidad de materia u objetos de gran masa, como planetas y estrellas.

El docente puede proyectar fotografías, animaciones o noticias de actualidad para situar a los alumnos en el contexto de estos procesos naturales, pero sin olvidar que esta introducción ha de ser breve, pues únicamente tiene como objetivo el de presentar la programación de la unidad y presentar los fenómenos relacionados.

Recursos

- Proyector o pizarra (opcional)
- Diapositivas preparadas por el docente (opcional)

Ejecutor

- Docente

B. Introducción a la metodología ABP

El uso de la metodología ABP para el desarrollo de las sesiones ha de ser claramente comunicada a los alumnos. Si esta metodología se usa puntualmente para trabajar este bloque y no ha sido utilizada con anterioridad, se deberá planificar un tiempo para explicar cómo llevarla a cabo. Los alumnos han de ser conscientes en todo momento de que usando esta estrategia serán ellos los protagonistas de su propio aprendizaje y han de conocer las ventajas de usar esta metodología. Por tanto, se dedicarán también unos minutos a este fin, haciendo hincapié en el uso de problemas y el trabajo cooperativo como piezas clave del proceso, que les permitiría conseguir un aprendizaje significativo. El docente puede apoyarse también en el esquema de Morales y Landa (2004) (véase **Figura 1**) para presentar el proceso del ABP.

Recursos

- Proyector o pizarra (opcional)
- Diapositivas preparadas por el docente (opcional)

Ejecutor

- Docente

C. Contenidos, objetivos y competencias

También debe programarse un tiempo para la presentación de los contenidos que van a impartirse durante la unidad, así como los objetivos y competencias que se

tratan de desarrollar. Se pueden proyectar y se deben comentar conjuntamente entre el profesor y los estudiantes, con el propósito de aclarar cualquier duda. Esta información, además, debe estar siempre al alcance de los alumnos en cualquier momento, por lo que pueden copiar la información o recuperarla de la intranet.

Recursos

- Proyector o pizarra (opcional)
- Diapositivas preparadas por el docente (opcional)

Ejecutor

- Docente y alumnos

D. Herramientas y criterios de evaluación

Es esencial que al inicio de la unidad didáctica queden establecidos los criterios de evaluación y las herramientas de las que se dispondrá para tal fin (rúbricas, pruebas orales o escritas, informes, etc.). Esta información también debe ser recuperable por los estudiantes en cualquier momento, por lo que se puede tomar un tiempo para presentarla y comentarla conjuntamente, pero idealmente debe estar disponible en la intranet.

Recursos

- Proyector o pizarra (opcional)
- Diapositivas preparadas por el docente (opcional)

Ejecutor

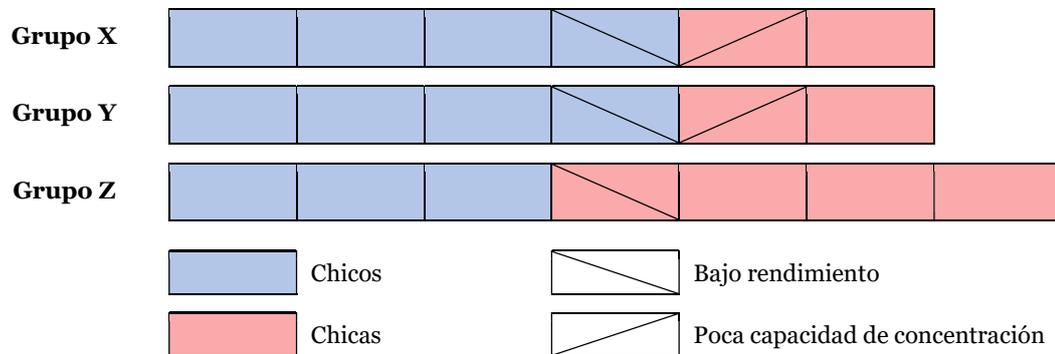
- Docente y alumnos

E. Formación de grupos

Con todo lo anterior ya explicado, incluyendo la metodología ABP, se debe proceder a la formación de grupos colaborativos. Esta tarea no debe llevar demasiado tiempo, pues la formación de los grupos debe haber sido previamente diseñada por el docente. Siguiendo las indicaciones de Morales y Landa (2004) y Montealegre (2016) para el número óptimo de integrantes por grupo (entre 5 y 9), y teniendo en cuenta el grupo de alumnos que conforma la clase, se pueden estructurar tres grupos de trabajo colaborativo: dos grupos de seis alumnos y uno de siete. Estos deben estar debidamente equilibrados, pues queremos conseguir un rendimiento similar, atendiendo a la diversidad, a la vez que se promueven valores de igualdad entre géneros. Con tal propósito, la repartición de los integrantes debe tener todos estos

factores muy en cuenta. Si valoramos las opciones de las que disponemos con el grupo previamente descrito, se propone la siguiente configuración:

Tabla 3. Definición de los grupos de trabajo cooperativo.



Fuente: Elaboración propia

La idea es mantener estos grupos durante el transcurso de toda la unidad, siempre y cuando no se requieran cambios por motivos de actitud, conflictos o bajo rendimiento. Por tanto, hablaremos de «grupos formales de aprendizaje cooperativo» que buscan lograr objetivos de aprendizaje compartidos y que comparten y completan juntos tareas o trabajos específicos (véase 2.3). Con todo, el tiempo dedicado a esta parte se usaría básicamente para mover las mesas y las sillas, y así formar espacios de trabajo más adecuados.

Problema #1

El enunciado del primer problema puede proyectarse o repartirse a cada uno de los grupos. Se puede dedicar algo de tiempo a leerlo conjuntamente para toda la clase, pero los grupos deberán, desde el primer momento, tratar de abordarlo mediante los pasos definidos en la metodología ABP. Es decir, deberán leer y analizar el escenario del problema, para luego realizar una lluvia de ideas y generar listas sobre lo que se conoce y lo que se desconoce. El docente deberá supervisar que estos pasos se están llevando a cabo y, en caso de que no se esté haciendo, puede sugerirlo.

Enunciado del problema

*En un estudio publicado en enero de 2016, el astrónomo Michael Brown aseguraba que las probabilidades de que existiera un hipotético planeta helado de gran tamaño situado en el exterior del Sistema Solar – llamado **Planeta Nueve** – eran nada menos que del 90%. Aunque no se ha observado directamente, su existencia pueda inferirse a través del comportamiento de las órbitas de un grupo de objetos transneptunianos,*

como muestra el diagrama. Se baraja la hipótesis de que su órbita sea muy excéntrica, situándose a una distancia al Sol de 200 UA en su punto más cercano y alejándose hasta una distancia de 1200 UA.

a) Buscad información sobre el hipotético planeta (composición, masa, tamaño, etc.) y, en base a estos datos, desarrollad el cálculo para determinar cuánto tarda en dar una vuelta alrededor del Sol.

b) Siendo un objeto tan lejano, es difícil observarlo directamente, pues la luz que refleja es muy tenue. Con todo, los telescopios apuntan hacia la región más alejada de su supuesta órbita. ¿Sabrías decir por qué?

c) Suponed ahora que la órbita del planeta es circular, con el mismo periodo de traslación y con un radio de 1200 UA. ¿A qué velocidad viajaría este planeta? ¿Cuál sería su momento angular?

Elaborad un informe detallado, justificando las respuestas en base a los conceptos teóricos disponibles para entender estos fenómenos.

Juntamente con el enunciado se facilita el diagrama de la **Figura 5**, donde se pueden visualizar las órbitas de un grupo de objetos transneptunianos y la órbita del objeto desconocido del que habla el problema.

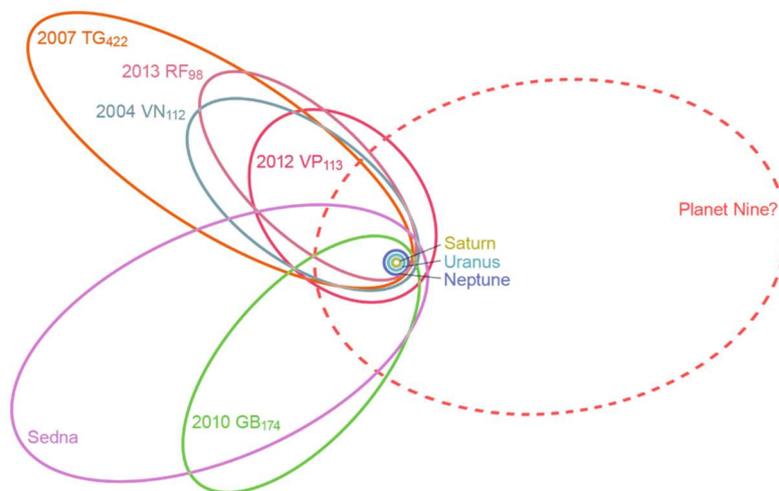


Figura 5. Supuesta órbita del Planeta 9. (Planeta Nueve. (n.d.). En Wikipedia. Recuperado de <https://bit.ly/2TIhIso>)

En el desarrollo de este problema se van a trabajar principalmente la configuración del Sistema Solar y las Leyes de Kepler, pero también algunos contenidos más transversales, como la velocidad de rotación de un cuerpo, la geometría de las elipses o el momento angular. En Anexo C se detallan los pasos básicos que deberían seguirse para la resolución de este problema.

Recursos

- Enunciados de problema
- Ordenadores

Ejecutor

- Alumnos

Problema #2

El enunciado del segundo problema se repartirá al inicio de una sesión, presumiblemente la tercera, tras haber recogido el informe del primer problema. Esta actividad es más extensa que la anterior, por lo que se necesitan más sesiones.

Enunciado del problema

*Los satélites artificiales (de navegación, de reconocimiento, de comunicaciones, meteorológicos, etc.) orbitan la Tierra debido a una única fuerza: la fuerza de la gravedad. Como sabemos, esta es una fuerza central y atractiva. Según la primera ley de Kepler, las órbitas de estos satélites deben ser elípticas, pero eso es así siempre y cuando su velocidad sea inferior a la **velocidad de escape**.*

Simularemos en una hoja de cálculo los diferentes escenarios que se presentan para la velocidad de los satélites, en función de esta respecto a su velocidad de escape ($v < v_e$ órbitas cerradas, $v \geq v_e$ órbitas abiertas). Para ello, deberéis usar el método de iteración, que consiste en calcular las sucesivas posiciones de un móvil aplicando las leyes de Newton.

Paso 1: Creación de constantes y variables iniciales

Constantes		Variables			
G ($\text{km}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^2$)	6,67E-20	x_0 (km)	-6600	v_{x_0} (km/s)	0
M_T (kg)	5,972E24	y_0 (km)	0	v_{y_0} (km/s)	8
R_T (km)	6,370E3	Δt (s)	1		

Paso 2: Creación de columnas donde van a calcularse las posiciones sucesivas de las magnitudes que necesitamos (la primera fila contendrá los valores iniciales):

t (s)	x (km)	y (km)	v_x (km/s)	v_y (km/s)	r (km)	g (km/s ²)	a_x (km/s ²)	a_y (km/s ²)
0	x_0	y_0	v_{x0}	v_{y0}	$\sqrt{x^2 + y^2}$	$-G \frac{M_T}{r^2}$	$g \cdot \frac{x}{r}$	$g \cdot \frac{y}{r}$
$t + \Delta t$	$x + \Delta x$	$y + \Delta y$	$v_x + \Delta v_x$	$v_y + \Delta v_y$	$\sqrt{x^2 + y^2}$	$-G \frac{M_T}{r^2}$	$g \cdot \frac{x}{r}$	$g \cdot \frac{y}{r}$

Siendo:

$$\Delta x = v_x \cdot \Delta t ; \Delta y = v_y \cdot \Delta t ; \Delta v_x = a_x \cdot \Delta t ; \Delta v_y = a_y \cdot \Delta t$$

Una vez creada la simulación (unas 10000 filas), investigad:

a) Cread una gráfica de dispersión tipo XY para visualizar la órbita, tratando de definir los ejes de manera que las divisiones sean iguales.

b) Demostrad la primera ley de Kepler, jugando con las condiciones iniciales. Ajustad el tamaño de la iteración si es necesario, así como los ejes, como se indica en el apartado anterior.

c) Buscad la órbita circular que pasar por $(x_0, y_0) = (-6600 \text{ km}, 0)$. ¿Qué velocidad v_{y_0} hay que darle al satélite? ¿Es el resultado parecido al teórico? Si cambiamos la posición inicial a $(x_0, y_0) = (-7600 \text{ km}, 0)$, ¿esa velocidad es mayor o menor?

d) Simulad un lanzamiento vertical desde la superficie de la Tierra. Determinad la máxima altura que alcanza un cohete con una velocidad inicial de 1 hasta 9 km/s. ¿Son los resultados parecidos a los teóricos? ¿Qué pasa si la velocidad es mayor que 11 km/s?

e) Simulad otra vez un satélite en órbita a una altura de 230 km. Si le damos una velocidad cercana a 11 km/s, ¿qué órbita obtenemos?

Redactad un informe con los resultados obtenidos, relacionando los modelos teóricos y las leyes físicas que se manifiestan. Podéis añadir las investigaciones que os parezcan interesantes.

El uso de las hojas de cálculo en este problema como recurso digital para crear y visualizar las órbitas no solo pretende motivar a los alumnos mediante el uso de las nuevas tecnologías, sino también promover un entendimiento íntegro de las ecuaciones involucradas en la interacción gravitatoria e introducir los procesos iterativos como herramienta tremendamente valiosa para la programación de simulaciones. Para más detalle, véase [Anexo D](#).

En cuanto a contenidos, se siguen repasando las leyes de Kepler, pero también se introducen la ley de Gravitación Universal y más parámetros orbitales relevantes, como son la velocidad orbital y la velocidad de escape. En este caso, hay una conexión muy interesante entre los contenidos del problema y la geometría de las cónicas, pues podemos relacionar este tema transversal a través del tipo de órbitas (elipses, parábolas o hipérbolas) que genera el valor de la velocidad orbital en comparación a la velocidad de escape.

Recursos

- Enunciados del problema
- Ordenadores

Ejecutor

- Alumnos

Problema #3

El siguiente problema no es tan complejo ni extenso como el anterior, por lo que solo se programarán dos sesiones para su planteamiento y resolución. Se cubren los conceptos teóricos que faltaban por ver (principalmente, potencial gravitatorio y energía potencial gravitatoria).

Enunciado del problema

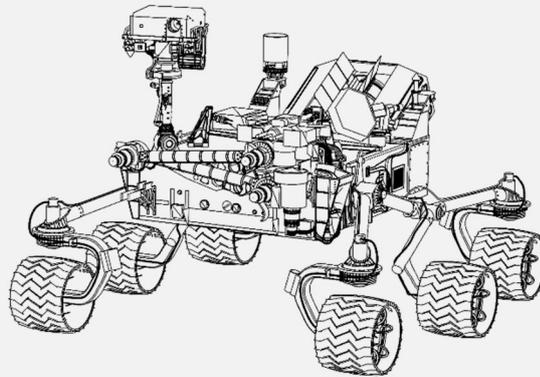
*El 6 de agosto de 2012, el robot **Curiosity** fue depositado sobre la superficie de Marte por una cápsula de entrada atmosférica ideada por el Mars Science Laboratory. Esta cápsula inició la entrada en la atmósfera a 125 km de la superficie de Marte y a una velocidad de 5845 m/s. Las técnicas usadas en el descenso propiciaron que el vehículo llegara a la superficie marciana a una velocidad de tan solo 0,6 m/s. Teniendo en cuenta que la masa del Curiosity es de 899 kg, calculad:*

a) El incremento de energía mecánica del vehículo en el descenso.

b) El trabajo realizado por el campo gravitatorio para trasladar el vehículo desde el punto inicial hasta la superficie. Representad gráficamente la variación del **potencial gravitatorio** en función de la distancia al centro del planeta.

c) El módulo de la intensidad de campo gravitatorio que ejerce Marte en el punto inicial del descenso del Curiosity y la fuerza (módulo, dirección y sentido) que el planeta hace sobre el robot en este punto.

d) Lo mismo que el apartado anterior, pero en la superficie del planeta.



Imaginad ahora que los sistemas automáticos del módulo de descenso hubieran interpretado erróneamente que el vehículo ya estaba en la superficie a 3,7 km de altura sobre Marte, como le ocurrió al módulo Schiaparelli en 2016. Este se quedó prácticamente parado a esa altura, por lo que paró los retrocohetes y el módulo se desprendió del paracaídas, precipitándose en caída libre.

e) En este caso, calculad la velocidad con la que el vehículo impactaría contra la superficie (considerad que la gravedad es constante durante la caída y que la fricción con la atmósfera de Marte puede ignorarse).

Elaborad un informe detallado, justificando las respuestas en base a los conceptos teóricos disponibles para entender estos fenómenos.

La resolución de los apartados de este problema, así como los valores utilizados para cada una de las magnitudes involucradas, se detalla en el [Anexo E](#).

Entran en juego, como hemos comentado, nuevos conceptos teóricos que no habían sido abordados aún en los dos problemas anteriores, como son el potencial gravitatorio y la energía potencial gravitatoria. También se ven algunos conceptos que ya deben saberse del curso anterior, como es la caída libre de cuerpos y la determinación de su velocidad de caída.

Recursos

- Enunciados del problema
- Ordenadores

Ejecutor

- Alumnos

Problema #4

El último problema a abordar ahonda en un tema de mucha actualidad como es la búsqueda de exoplanetas. Por lo que el autor de este trabajo ha podido comprobar, la búsqueda de vida en otros mundos siempre suscita la curiosidad de los alumnos, por lo que deberíamos tener un cierto grado de motivación garantizado.

Enunciado del problema

Uno de los exoplanetas con más posibilidades de albergar algún tipo de vida es el Ross 128b, con un periodo orbital de 9,9 días, en una órbita prácticamente circular de radio $7,42 \cdot 10^6$ km y con una masa de 1,35 veces la masa de la Tierra.

a) Calculad la masa de la estrella Ross 128 b.

b) Suponiendo que el exoplaneta Ross 128 b tenga igual densidad que la Tierra, calculad el radio y el módulo de la intensidad del campo gravitatorio sobre la superficie.

Elaborad un informe detallado, justificando las respuestas en base a los conceptos teóricos disponibles para entender estos fenómenos.

La resolución de este problema viene detallada en el [Anexo F](#).

Recursos

- Enunciados del problema
- Ordenadores

Ejecutor

- Alumnos

Ampliación

Además de los problemas previamente planteados, es de esperar que no todos los grupos rindan de igual forma o al mismo ritmo. Por ello, se prevé algún apartado de ampliación evaluable para los que quieran profundizar algo más en la materia. Nótese que este se ha excluido de la temporalización, por ser de carácter opcional y adicional, pudiéndose ejecutar paralelamente, en cualquier momento durante el transcurso de las sesiones.

Se propone la elaboración de un informe adicional que recoja el procedimiento y los diagramas necesarios para calcular la intensidad del campo gravitatorio debido a dos masas en un cierto punto del espacio, resaltando el carácter vectorial de las fuerzas de interacción, como se ve en la **Figura 6**.

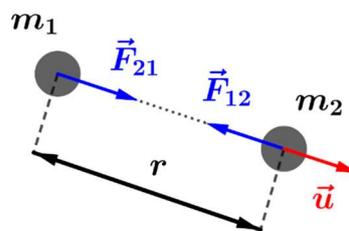


Figura 6. Ley de Gravitación Universal.

La ley de Gravitación Universal nos facilita las siguientes ecuaciones vectoriales para la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos:

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{u} = -G \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r} \quad (2)$$

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (3)$$

Con esto, se deberán elaborar una serie de pasos que permitan el cálculo en cualquier situación. Idealmente, debe abordarse primero el cálculo de vectores unitarios para que en los casos donde el vector \vec{r} no es paralelo a los ejes coordenados, se pueda gestionar correctamente el cálculo (**Figura 7**).

Los pasos serían los siguientes:

1. Dibujar el vector \vec{r} entre los dos puntos considerados
2. Dibujar el vector unitario \vec{u} en el mismo sentido que el vector \vec{r}
3. Calcular el vector \vec{r} entre los dos puntos considerados

$$\vec{r} = (x_2, y_2) - (x_1, y_1) = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} = x\vec{i} + y\vec{j} \quad (4)$$

4. Calcular el módulo de \vec{r}

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (5)$$

5. Calcular el vector unitario \vec{u}

$$\vec{u} = \frac{\vec{r}}{r} \quad (6)$$

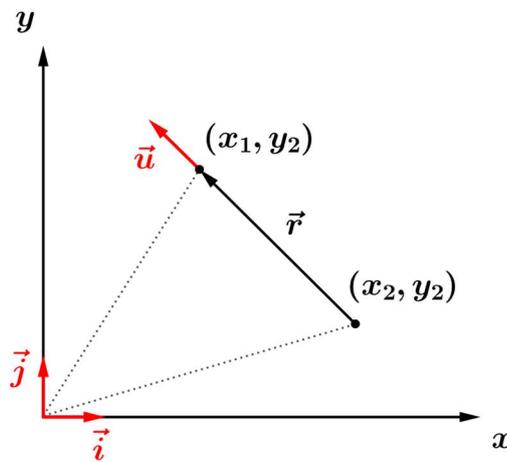


Figura 7. Cálculo de vectores unitarios.

Gráficamente, se puede recurrir al diagrama de la **Figura 8** para visualizar las intensidades de los campos gravitatorios \vec{g}_1 y \vec{g}_2 que generan las dos masas, m_1 y m_2 .

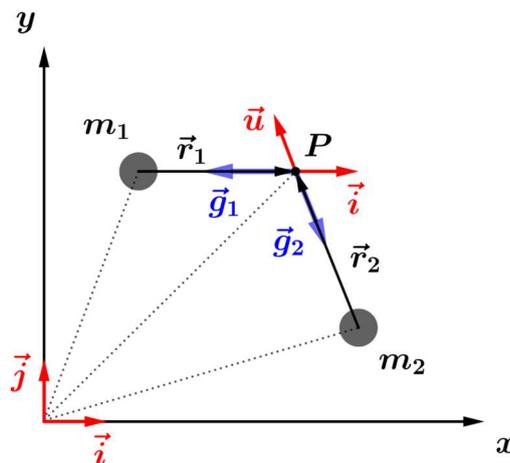


Figura 8. Cálculo de la intensidad del campo gravitatorio generado por dos masas, m_1 y m_2 , en un punto P .

Finalmente, los pasos a seguir para el cálculo de la intensidad gravitatoria dado el esquema de la **Figura 8**, serían los que aquí se detallan:

1. Calcular \vec{r}_2 mediante (4).
2. Calcular r_2 mediante (5).
3. Calcular \vec{u}_2 mediante (6).
4. Calcular r_1 mediante (5). No es necesario calcular el vector \vec{r}_1 en este caso, puesto que ya se conoce el vector unitario.
5. Calcular \vec{g}_1 y \vec{g}_2

$$\vec{g}_1 = -G \frac{m_1 \vec{i}}{r_1^2} \quad (7)$$

$$\vec{g}_2 = -G \frac{m_2 \vec{u}_2}{r_2^2} \quad (8)$$

6. Calcular $\vec{g} = \vec{g}_1 + \vec{g}_2$

Recursos

- Ordenadores (opcional)

Ejecutor

- Alumnos

Elaboración de informes

Todos los problemas requieren de la redacción y entrega de un informe grupal, que se deberá ceñir a unas ciertas pautas, tanto de formato como de contenido. Este informe, como se verá en la **Tabla 2**, debe ser redactado durante las sesiones y entregado al final de la última sesión dedicada al problema en cuestión.

La extensión de estos informes oscilará entre 2-3 páginas, pero pueden añadirse anexos si es necesario. En cuanto al contenido, se deberá responder íntegramente a las cuestiones planteadas en los problemas, pero también se pide incluir los conceptos teóricos que se han utilizado y que se relacionan a la actividad. Una parte importante del informe será la identificación de «lo que se conoce» y «lo que no se conoce», como parte del proceso ABP, así como también los datos recolectados, las fuentes bibliográficas o cualquier hecho que haya tenido que asumirse.

Presentaciones orales

Adicionalmente, antes del cierre de los problemas, los miembros del grupo deberán nombrar dos portavoces (estos deberán cambiar a lo largo de las sesiones)

para que presenten sus resultados al resto de compañeros de la clase. Se trata de resumir los puntos más importantes y mostrar las conclusiones. Estas presentaciones no deben durar más de 5 minutos por grupo, pues deben también dar pie a posibles preguntas y aclaraciones por parte del profesor.

Apuntes individuales

Aunque los informes se realizan, se entregan y se evalúan grupalmente, cada alumno debe ir generando su cuaderno de apuntes individuales, en el que recogerá todo lo aprendido durante las sesiones (conceptos, fórmulas, procesos, cálculos, etc.). Esto será importante de cara a la prueba escrita «con apuntes» que se llevará a cabo a la mitad de la unidad didáctica.

Pruebas escritas

Se llevará a cabo una prueba escrita «con apuntes» a la mitad de la unidad y otra prueba escrita final y sin apuntes, al final de la unidad.

El resumen de los problemas, junto a los contenidos que se cubren en cada uno de ellos y las competencias básicas a desarrollar, puede encontrarse en la **Tabla 4**.

Tabla 4. *Contenidos y competencias básicas a trabajar en cada problema.*

Problema	Contenidos	Competencias básicas
#1	Descripción del Sistema Solar visto desde la Tierra. Leyes de Kepler. Fuerzas centrales, momento angular y campos de fuerzas conservativos. Aplicación al cálculo de parámetros orbitales para órbitas circulares: periodos, velocidades y radios.	CCL, CM, CIMF, TICD, CSC, CAA
#2	Leyes de Kepler. Ley de Gravitación Universal de Newton. Fuerzas centrales, momento angular y campos de fuerzas conservativos. Aplicación al cálculo de parámetros orbitales para órbitas circulares: periodos, velocidades y radios. Determinación de la energía necesaria para emplazar un satélite en órbita circular o enviarlo fuera del campo gravitatorio. Velocidad de escape. Caracterización de naves espaciales y satélites artificiales. Aplicación en campos diversos. Estudio, mediante simulaciones, de diferentes parámetros orbitales de un satélite artificial. Análisis de diferentes tipos de órbitas en función de la energía mecánica.	CCL, CM, CIMF, TICD, CSC, CAA

#3	<p>Ley de Gravitación Universal de Newton Intensidad del campo gravitatorio y su variación alrededor de un astro Cálculo de la fuerza gravitatoria sobre un cuerpo en la superficie y en diferentes alturas sobre la Tierra y de otros astros Energía potencial gravitatoria Potencial gravitatorio. Diferencia de potencial.</p>	<p>CCL, CM, CIMF, TICD, CSC, CAA</p>
#4	<p>Ley de Gravitación Universal de Newton Intensidad del campo gravitatorio y su variación alrededor de un astro Relación de identidad entre fuerza gravitatoria y fuerza centrípeta en las órbitas (supuestas circulares) de planetas y satélites. Aplicación al cálculo de parámetros orbitales para órbitas circulares: periodos, velocidades y radios.</p>	<p>CCL, CM, CIMF, TICD, CSC, CAA</p>
Ampliación	<p>Ley de Gravitación Universal de Newton Cálculo de la fuerza gravitatoria sobre un cuerpo en la superficie y en diferentes alturas sobre la Tierra y de otros astros</p>	<p>CCL, CM, CSC, CAA</p>

Fuente: Elaboración propia

3.7. Evaluación

Se pretende que la evaluación de la unidad ocurra desde el principio del proceso hasta acabar las sesiones relacionadas con el bloque, siendo esta una evaluación continua y final. A tales efectos, se dispone de múltiples elementos evaluables: informes, presentaciones orales, actitud y aptitud para el trabajo cooperativo en el aula y pruebas escritas.

Los criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje que van a evaluarse vienen recogidos en la **Tabla 5**, junto a las competencias básicas relacionadas a cada uno de ellos.

Tabla 5. Criterios de evaluación, estándares de aprendizaje y competencias

Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Competencias básicas
Aplicar habilidades necesarias para la investigación científica, planteando preguntas, identificando y analizando problemas, emitiendo hipótesis fundamentales, recolectando datos,	1. Busca, selecciona y organiza información para explicar fenómenos relacionados con las fuerzas gravitatorias	CCL, CM, CAA, AIP, CSC

analizando tendencias a partir de modelos, diseñando y proponiendo estrategias de actuación		
Efectuar los análisis dimensionales de las ecuaciones que relacionan las diferentes magnitudes en un proceso físico	2. Efectúa los análisis dimensionales de las ecuaciones que relacionan las diferentes magnitudes en el estudio de las fuerzas gravitatorias	CM, CAA, AIP
Resolver ejercicios en los que se ha deducir información a partir de los datos y de las ecuaciones del fenómeno y contextualizar los resultados	3. Resuelve ejercicios en los que se ha de deducir la información a partir de los datos y de las ecuaciones del fenómeno gravitatorio y contextualiza los resultados	CM, CAA
Elaborar e interpretar representaciones gráficas de dos y tres variables a partir de datos experimentales y relacionarlos con ecuaciones matemáticas que representan las leyes y los principios físicos	4. Interpreta y analiza representaciones gráficas del campo gravitatorio y las relaciona con las líneas de campo y las superficies equipotenciales 5. Interpreta y analiza distintas representaciones gráficas de las fuerzas gravitatorias y las relaciona con las ecuaciones matemáticas correspondientes	CM, CAA, AIP
Diferenciar entre los conceptos de fuerza y campo, estableciendo una relación entre la intensidad del campo gravitatorio y la aceleración de la gravedad	6. Comprende los conceptos de fuerza y campo gravitatorio, y reconoce las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la intensidad del campo gravitatorio y la aceleración de la gravedad	CM, CIMF, CAA
Representar el campo gravitatorio mediante las líneas de campo y las superficies equipotenciales	7. Interpreta y analiza representaciones gráficas del campo gravitatorio y las relaciona con las líneas de campo y las superficies equipotenciales	CM, CIMF, CAA,
Explicar el carácter conservativo del campo gravitatorio y determinar el trabajo realizado por el campo a partir de las variaciones de energía potencial	8. Reconoce el carácter conservativo del campo gravitatorio y calcular el trabajo realizado por el campo a partir de las variaciones de energía potencial	CCL, CM, CIMF, CAA

Calcular la velocidad de escape de un cuerpo aplicando el principio de conservación de la energía mecánica	9. Conoce y aplica las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la velocidad de escape de un cuerpo para librarse de la atracción gravitatoria de la Tierra	CM, CIMF, CAA
Aplicar la ley de conservación de la energía al movimiento orbital de diferentes cuerpos	10. Sitúa satélites en el espacio utilizando fórmulas matemáticas como el cálculo de velocidad orbital y el periodo de revolución	CM, CIMF, CAA
Deducir a partir de la ley fundamental de la dinámica la velocidad orbital de un cuerpo y relacionarla con el radio de la órbita y la masa del cuerpo	11. Utiliza fórmulas matemáticas para el cálculo de la velocidad orbital de un cuerpo, relacionándola con su masa y el radio de su órbita	CM, CIMF, CAA
Utilizar aplicaciones virtuales interactivas para el estudio de satélites y diferentes tipos de órbitas	12. Utiliza las nuevas tecnologías o recursos TIC para generar una simulación de visualización de órbitas	CCL, CM, TICD, CAA

Fuente: Elaboración propia

Puesto que en el aula el docente tiene la oportunidad de ser testigo del desempeño de los alumnos al trabajar en equipo, una parte de la evaluación se debe fundamentar en el esfuerzo, el interés, la participación y la actitud de estos durante el análisis, planteamiento y desarrollo de los problemas. En este punto, se pueden evaluar aspectos actitudinales que demuestren el desarrollo de las competencias más transversales: CCL, CSC, CAA y AIP. En el uso de las tecnologías al buscar y recolectar información, también en el aula, el docente puede evaluar la competencia TICD. De todo lo demás (pruebas escritas, presentaciones orales e informes), se pueden evaluar las demás competencias básicas: CM, CIMF y CAA.

Las principales técnicas de evaluación serán la observación del docente, la revisión y corrección de los informes y, finalmente, las pruebas orales y escritas. Para los elementos evaluables de la evaluación continua puede usarse como instrumento de evaluación la rúbrica disponible en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Rúbrica para la evaluación de la unidad

Indicadores		Nivel de logro				Puntuación	Competencias básicas
		Nivel 1 (suspenseo)	Nivel 2 (aprobado)	Nivel 3 (notable)	Nivel 4 (sobresaliente)		
Trabajo cooperativo (20%)	Iniciativa en la realización de tareas	No participa ni respeta a sus compañeros	Participa, pero no siempre respeta las otras opiniones	Participa y respeta las opiniones de los demás	Participa activamente y respeta y valora las otras opiniones	2,0	CCL, CAA, AIP, CSC
	Interés en los contenidos y conceptos teóricos	No muestra interés	Muestra interés, pero no reflexiona ni profundiza	Muestra interés y reflexiona, pero no profundiza	Muestra interés, reflexiona y profundiza		
	Nivel de ajuste a los objetivos planteados	No se trabaja o no hay interés	Se trabaja, pero de forma desorganizada	Se trabaja organizadamente, pero sin concretar resultados	Se trabaja organizadamente y se consiguen resultados		
Uso de TIC (5%)	Búsqueda de información	No sabe dónde buscar	Busca en un número limitado de fuentes	Busca en varias fuentes, pero no es crítico	Busca en varias fuentes y es crítico	0,5	TICD
	Uso de herramientas digitales	No se desenvuelve o no tiene interés	Emplea pocas herramientas y con dificultad	Emplea varias herramientas, pero con dificultad	Emplea varias herramientas y con soltura		
Informes (5%) ×4	Redacción de informe	Sin estructura. Falta información.	Poco estructurado. La información es poco precisa.	Estructurado. La información es poco precisa.	Estructurado. La información es precisa.	2,0	CM, CIMF, CAA
Presentación oral (5%)	Información	Incorrecta y desorganizada	Incorrecta, pero organizada	Con fallos y organizada	Correcta y organizada	0,5	CCL, CM, CIMF
	Comunicación	Expresión corporal rígida. Vocabulario erróneo.	Expresión corporal rígida. Vocabulario mejorable.	Expresión corporal rígida. Vocabulario correcto.	Expresión corporal adecuada y vocabulario correcto.		

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se establecen los siguientes porcentajes para cada uno de los elementos evaluables:

- Evaluación continua.....50%
 - Trabajo cooperativo20%
 - Uso de TIC5%
 - Informes × 4 (Ampliación +0,5 puntos).....5% (20%)
 - Presentación oral5%
- Prueba «con apuntes»10%
- Prueba final.....40%

3.8. Evaluación de la propuesta

Al finalizar la unidad didáctica, es esencial valorar si se han cumplido los objetivos marcados al inicio de la misma. Aunque el mismo desarrollo de las sesiones y cómo participan e interactúan los alumnos es un indicador potente para obtener una valoración sobre interés, motivación y participación, deberemos también evaluar si la metodología aplicada mejora significativamente el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por un lado, podemos reflexionar sobre las calificaciones generales obtenidas por el grupo-clase y, por otro, sobre el grado de satisfacción de los alumnos con los contenidos y actividades realizadas en la unidad didáctica. Sobre lo primero, debemos ser cautos con la interpretación de estas calificaciones y hay que valorar si los instrumentos de evaluación que hemos diseñado nos permiten extraer conclusiones sobre la adquisición y asimilación eficaz de los contenidos y competencias que se han trabajado. Con unas calificaciones generales muy bajas, en todo caso, podríamos intuir un mal diseño, una mala aplicación o una incorrecta adecuación de la unidad didáctica al grupo-clase. Sobre lo segundo, como se ha comentado, pueden extraerse conclusiones iniciales durante el transcurso de las sesiones, pues el nivel de participación, motivación e interés va a poder valorarse en el aula por parte del docente y es un muy buen indicador. Aun así, ello no garantiza que los alumnos adquieran las competencias que se habían fijado.

En conclusión, las calificaciones generales obtenidas por el grupo-clase y la dinámica de las sesiones pueden, en conjunto, aportar información valiosa sobre la efectividad de la propuesta de intervención, aunque hay que ser cautos porque estos indicadores no garantizan la consecución de los objetivos fijados. Como herramientas adicionales de evaluación, se proponen dos actividades adicionales: la publicación de una pregunta en la intranet (*Google Classroom*), donde los alumnos puedan valorar la unidad en general, y una encuesta o cuestionario a rellenar en hora de clase, que

puedan rellenar los alumnos de forma anónima y donde califiquen la unidad y el desempeño del docente como guía del proceso ABP.

Para la encuesta, se proponen una batería de no más de 20 preguntas (por ejemplo, 15 para evaluar la unidad y 5 para evaluar al profesor), con casillas puntuables del 1 al 5 (1 – Nada, 2 – Poco, 3 – Normal, 4 – Bastante, 5 – Mucho).

Algunas preguntas relacionadas a la unidad pueden ser:

- La metodología usada ha aumentado mi motivación por la asignatura
- La metodología usada me ha permitido mejorar la comprensión de conceptos
- Los contenidos impartidos en la unidad me han parecido interesantes
- Las actividades propuestas me han servido para relacionar los conceptos con los fenómenos de la vida real
- He ayudado a mis compañeros y he recibido ayuda por su parte

Para evaluar al docente, las preguntas podrían ser:

- El profesor ha explicado con claridad la metodología a usar en la unidad
- El profesor valora y trata con respeto a los alumnos
- Las fuentes facilitadas por el profesor han sido muy útiles

4. Conclusiones

En base a todo lo expuesto en los apartados anteriores, podemos extraer las siguientes conclusiones:

Respecto a exponer la base teórica que justifique la necesidad de introducir un cambio de paradigma en el proceso de enseñanza-aprendizaje actual y en las metodologías expositivas.

- La necesidad crítica de superar las pruebas de acceso a la Universidad (PAU) por los alumnos de 2º de Bachillerato al acabar el curso promueve enfoques de aprendizaje superficiales y estratégicos en esta etapa. Los docentes, por su parte, imparten en general con una metodología muy tradicional, dando un gran peso y dedicación a las sesiones expositivas. Así, los alumnos se dedican a memorizar los contenidos y a tratar de reproducirlos de forma pasiva, buscando reglas o patrones memorísticos para poder aplicar lo aprendido de forma mecánica. En última instancia, crece el desinterés por la materia y se reduce la motivación.

- Los descubrimientos más recientes sobre psicología cognitiva han arrojado algo de luz sobre cómo funciona la memoria y cómo trabaja el cerebro a la hora de codificar y recuperar la información. El conocimiento estaría estructurado en redes de conceptos relacionados, llamadas «redes semánticas», y el aprendizaje significativo se produciría cuando nueva información se acopla a la ya existente. Una de las características más importantes de la memoria es su estructura asociativa.

Respecto a explicar la metodología ABP, detallar sus características y explorar sus posibilidades como alternativa a la enseñanza tradicional.

- La metodología ABP puede conllevar, junto al trabajo cooperativo, efectos claramente positivos en el aprendizaje de los estudiantes, facilitando o promoviendo aspectos que son esenciales para lograr el aprendizaje significativo, como la facilitación de la comprensión de nuevos conocimientos, las disposiciones afectivas, los conflictos cognitivos, etc.
- Aunque la LOMCE (2013) suponía la eliminación de las PAU (o su sustitución por la prueba final de Bachillerato), la falta de conformidad entre la comunidad educativa y el Gobierno ha provocado la retirada de este artículo, por lo que la puerta de acceso a las Universidades sigue siendo las PAU. Además, el currículo del Bachillerato en Cataluña sigue las pautas de la LOE (2006), por lo que está desalineado a nivel estatal y autonómico. Todo ello genera un cierto grado de inestabilidad y desconcierto en cuanto a los contenidos, objetivos y competencias a desarrollar en las unidades didácticas.

Respecto a desarrollar una unidad didáctica contextualizada, basada en la metodología ABP, definiendo contenidos y objetivos, temporalizando las sesiones y diseñando sus correspondientes herramientas de evaluación.

- Se ha diseñado una unidad didáctica para el bloque de Interacción Gravitatoria de 2º de Bachillerato en base a la teoría expuesta y mediante la metodología ABP, planteando problemas de actualidad que muestran a los alumnos que los fenómenos relacionados a satélites artificiales, exoplanetas, exploración espacial, etc. pueden ser descritos en un nivel básico por la teoría y los modelos que se aprenden en el curso.
- La metodología ABP y la unidad didáctica propuesta son entornos favorables para el desarrollo por competencias. El trabajo cooperativo y el uso de las TIC, en base a lo expuesto en el marco teórico, permitirían a los alumnos trabajar

las habilidades necesarias para introducirse de forma óptima en la sociedad y en la vida adulta.

Por tanto, se cumple el objetivo general planteado de diseñar una propuesta de intervención didáctica innovadora para el Bloque 2 de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato «Interacción gravitatoria» mediante la puesta en práctica de la metodología *Aprendizaje Basado en Problemas* (ABP).

5. Limitaciones y prospectiva

La presente propuesta de intervención presenta algunas limitaciones, que vamos a describir a continuación:

- El diseño y planificación de esta unidad didáctica se basa en el estudio teórico de la metodología propuesta, aceptando sus bondades y beneficios, aunque la realidad del aula puede diferir en cierta medida con lo plasmado en este trabajo, ya sea a nivel de temporalización, como de contenidos, etc. El autor de este trabajo carece de experiencia práctica en el uso de la metodología expuesta, así que se presupone que el profesor guía de la metodología ABP está previamente formado.
- Relacionado con el punto previo, es importante remarcar la dificultad de emplear correctamente el aprendizaje cooperativo. Cooperar no solo consiste en que los alumnos compartan el espacio físico, por lo que el profesor guía también debería dominar la gestión de estos grupos y saber reconducirlos, cuando sea necesario.
- Existe un gran desalineamiento de las leyes educativas. No solo a nivel estatal, sino entre este y los decretos que a nivel autonómico aún están en vigor. Esto causa una cierta incertidumbre a la hora de impartir y limita la presente propuesta de intervención, que no sería extensible a otras regiones del país.
- La propuesta de este trabajo se ha contextualizado en un grupo muy equilibrado, sin grandes diferencias entre los miembros del mismo. No hay, pues, una gran diversidad en el aula, que requiera un desafío mayor. No se han contemplado adaptaciones curriculares o actividades de atención especial para ningún alumno.
- Esta propuesta no ha podido ser aplicada ni contrastada, por lo que aquí radica una de sus más grandes limitaciones. Solo supone un punto de partida, una base sobre la que trabajar, perfeccionar e innovar.

De cara al futuro, esta propuesta de intervención se podría adaptar y mejorar para incluir los siguientes aspectos:

- Extrapolar y adaptar la propuesta al marco educativo de la LOMCE (2013), que se supone constituirá la ley educativa vigente en todo el Estado.
- Adaptar la propuesta a otros contextos y a otras Comunidades Autónomas, añadiendo también más diversidad en el aula y casos de atención especial.
- Diseñar complementariamente un plan de formación para el equipo docente, con el objetivo de formarlo en la práctica de las nuevas metodologías (ABP, AC y TIC). Es poco realista la aplicación directa e inmediata de una propuesta como esta en un centro escolar acostumbrado a las clases magistrales y sin ninguna preparación. Es esencial implicar a todo el equipo docente y preparar formaciones para que los docentes puedan desarrollar las sesiones de forma eficaz.
- Llevar a cabo la propuesta en el centro y evaluarla, analizando los resultados para estudiar posibles mejoras y adaptaciones.

6. Referencias bibliográficas

Álvarez, A. y Del Río, P. (2000). Capítulo 6: Educación y desarrollo: la teoría de Vygotsky y la zona de desarrollo próximo. En Coll, C., Palacios, J., Marchesi, A. *Desarrollo Psicológico y Educación II*. Madrid: Alianza Editorial. Disponible en <https://bit.ly/2RxQgf9>

Aznar, I., Cáceres, M. P. y Hinojo, F. J. (2005). Formación y cualificación del profesorado para atender los nuevos retos educativos que ofrece el Blended Learning. *Revista Etic@net*, ISSN 1695-324X, 5. Granada. Disponible en: <https://bit.ly/2GalS9i>

Ballesta, J. (1996). La formación del profesorado en nuevas tecnologías aplicadas a la educación. En Salinas, J. *et al.* (Coords). *Eduotec95. Redes de comunicación, redes de aprendizaje* (pp 435-447). Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears.

Barrel, J. (1999). *Aprendizaje Basado en Problemas, un enfoque investigativo*. Buenos Aires: Editorial Manantial. Recuperado de <https://bit.ly/2Skrt2M>

Barrows, H.S. (1986). A Taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20, 481-486. doi: 10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x

- Barrows, H. (1996). Problem-Based learning in medicine and beyond: A brief overview. En Wilkerson L., Gijsselaers W.H. (eds), *Bringing Problem-Based Learning to Higher Education: Theory and Practice* (pp. 3-12). San Francisco: Jossey-Bass Publishers. Recuperado de <https://bit.ly/2SbhexF>
- Campanario, J. M. y Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.
- Decret 142/2008, de 15 de juliol, *pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments del batxillerat*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 5183, 29 de julio de 2008, pp. 59261-59274. [consultado el 19 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/1KLJVE5>
- Exley, K. y Dennis, R. (2007). Capítulo 5: Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). En Exley, K. y Dennis, R. (1ª Ed.), *Enseñanza en pequeños grupos en Educación Superior* (pp. 85-102). Madrid: Narcea.
- Glaser, R. (1991). The Maturing of the relationship between the science of learning and cognition and educational practice. *Learning and Instruction*, 1(2), 129-144. doi: 10.1016/0959-4752(91)90023-2
- Gómez, M. A., y Pozo, J. L. (2009). Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Madrid: Ediciones Morata. Recuperado de <https://bit.ly/2DMPl7b>
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn?. *Educational Psychology Review*, 16 (3), 235-266.
- Johnson, D. W. y Johnson, R. T. (1989). Cooperation and competition: Theory and research. Edina, MN: Interaction Book Company.
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., Holubec, E. J. (1994). El aprendizaje cooperativo en el aula. Buenos Aires: Editorial Paidós.
- La conexión a Internet en los centros escolares de España está generalizada. (12 de agosto de 2016). *Ministerio de Educación, Cultura y Deporte*. Disponible en: <https://bit.ly/2t3iR2j>
- Llei 12/2009, de 10 de juliol, *d'ensenyament*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 5422, 16 de julio de 2009. [consultado el 3 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/2Tm2sBk>

- Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de *Educación*. Boletín Oficial del Estado, 106, de 4 de mayo de 2006, pp. 17158-17207. [consultado el 15 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/1vUxjGx>
- Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, *para la mejora de la calidad educativa*. Boletín Oficial del Estado, 295, de 10 de diciembre de 2013, pp. 97858-97921. [consultado el 15 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/18yHrs1>
- Marzano, R. (1997). Dimensiones del aprendizaje (2ª Ed.). Guadalajara: Iteso. Disponible en: <https://bit.ly/2vXh2Wd>
- Méndez-Coca, D. (2015). Estudio de las motivaciones de los estudiantes de secundaria de física y química y la influencia de las metodologías de enseñanza en su interés. *Educación XXI*, 18(2), 215-235. Recuperado de <https://bit.ly/2MFMsHS>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015). *Marco estratégico Educación y Formación 2020*. Recuperado de <https://bit.ly/2DK4G88>
- Montealegre, C. A. (2016). Capítulo 7: Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). En Montealegre García, C. A., (1ª Ed), *Estrategias para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Ibagué: Ediciones Unibagué.
- Morales, P. y Landa, V. (2004). Aprendizaje Basado en Problemas. *Theoria*, 13, 145-157. Recuperado de <https://bit.ly/1txKKOJ>
- Pacca, J. L. A. y Henrique, K. F. (2004). Dificultades y estrategias para la enseñanza del concepto de energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), 159-166.
- Palomar, M. J. (2009). Ventajas e inconvenientes de las TIC en la docencia. *Revista Digital Innovación y experiencias educativas*, ISSN 1988-6047, 1-8. Disponible en: <https://bit.ly/2JPjl6M>
- Perkins, D. N., Simmons, R. y Tishman, S. (1990). Teaching cognitive and metacognitive strategies. *Journal of Structural Learning*, 10(4), 285-292.
- Planeta Nueve. (n.d.). En *Wikipedia*. Recuperado de <https://bit.ly/2TThIso>
- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, *por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. Boletín Oficial del Estado, 3, 3 de enero de 2015, pp. 169-546. [consultado el 21 de octubre 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/1xEzcsK>

- Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, *por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas*. Boletín Oficial del Estado, 266, 6 de noviembre de 2007, pp. 45381-45477. [consultado el 22 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/1OQTmqf>
- Real Decreto-Ley 5/2016, de 9 de diciembre, *de medidas urgentes para la ampliación del calendario de implantación de la Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la ley educativa*. Boletín Oficial del Estado, 298, 10 de noviembre de 2016, pp. 86168-86174. [consultado el 12 de enero de 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/2heKlNw>
- Recurso de inconstitucionalidad nº8741-2009, *en relación con diversos preceptos de la Ley del Parlamento de Cataluña 12/2005, de 10 de julio, de Educación*. Boletín Oficial del Estado, 268, 6 de noviembre de 2009, p. 92704. [consultado el 3 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/2UA59j5>
- Resolució ENS/1543/2013, de 10 de juliol, del Departament d'Ensenyament, de *l'atenció educativa a l'alumnat amb altes capacitats*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 6419, 17 de julio de 2013. [consultado el 19 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2MKHNnX>
- Resolució ENS/1544/2013, de 10 de juliol, del Departament d'Ensenyament, de *l'atenció educativa a l'alumnat amb trastorns de l'aprenentatge*. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 6419, 17 de julio de 2013. [consultado el 19 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2QuwIry>
- Stepien, W. J. (1993). Problem-based Learning: As authentic as It Gets. *Educational Leadership*, 50(7), 22-25.
- Vázquez, Á. y Manassero, M. A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(3), 274-292.
- Vizcarro, C. y Juárez, E. (2008). Capítulo 1: ¿Qué es y cómo funciona el aprendizaje basado en problemas? En Sevilla, J. G., *El aprendizaje basado en problemas en la enseñanza universitaria*. Murcia: Editum. Disponible en: <https://bit.ly/1HAwnv>

7. Anexos

Índice de anexos

Anexo A.....	57
Anexo B.....	58
Anexo C.....	59
Anexo D.....	60
Anexo E.....	62
Anexo F.....	63

Anexo A

Tabla 7. *Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables en Bloque 2. Interacción gravitatoria de Física 2º Bachillerato (LOMCE).*

Contenidos	
Campo gravitatorio.	Potencial gravitatorio.
Campos de fuerza conservativos.	Relación entre energía y movimiento orbital.
Intensidad del campo gravitatorio.	Caos determinista.
Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
1. Asociar el campo gravitatorio a la existencia de masa y caracterizarlo por la intensidad del campo y el potencial.	1.1. Diferencia entre los conceptos de fuerza y campo, estableciendo una relación entre intensidad del campo gravitatorio y la aceleración de la gravedad. 1.2. Representa el campo gravitatorio mediante las líneas de campo y las superficies de energía equipotencial.
2. Reconocer el carácter conservativo del campo gravitatorio por su relación con una fuerza central y asociarle en consecuencia un potencial gravitatorio.	2.1. Explica el carácter conservativo del campo gravitatorio y determina el trabajo realizado por el campo a partir de las variaciones de energía potencial.
3. Interpretar las variaciones de energía potencial y el signo de la misma en función del origen de coordenadas.	3.1. Calcula la velocidad de escape de un cuerpo aplicando el principio de conservación de la energía mecánica.
4. Justificar las variaciones energéticas de un cuerpo en movimiento en el seno de campos gravitatorios.	4.1. Aplica la ley de conservación de la energía al movimiento orbital de diferentes cuerpos como satélites, planetas y galaxias.
5. Relacionar el movimiento orbital de un cuerpo con el radio de la órbita y la masa generadora del campo.	5.1. Deduce a partir de la ley fundamental de la dinámica la velocidad orbital de un cuerpo y la relaciona con el radio de la órbita y la masa del cuerpo. 5.2. Identifica la hipótesis de la existencia de materia oscura a partir de los datos de rotación de galaxias y la masa del agujero negro central.
6. Conocer la importancia de los satélites artificiales de comunicaciones, GPS y meteorológicos y las características de sus órbitas.	6.1. Utiliza aplicaciones virtuales interactivas para el estudio de satélites de órbita media (MEO), órbita baja (LEO) y de órbita geoestacionaria (GEO) extrayendo conclusiones.
7. Interpretar el caos determinista en el contexto de la interacción gravitatoria.	7.1. Describe la dificultad de resolver el movimiento de tres cuerpos sometidos a la interacción gravitatoria mutua utilizando el concepto de caos.

Fuente: Adaptado de *art. 37 RD 1105/2014, de 26 de diciembre*

Anexo B

Tabla 8. *Contenidos y criterios de evaluación en Tema 2. Interacción gravitatoria de Física 2º Bachillerato (LOE).*

Contenidos	Criterios de evaluación
- Una revolución científica que modificó la visión del mundo. De las leyes de Kepler a la Ley de gravitación universal. Energía potencial gravitatoria.	Valorar la importancia de la Ley de la gravitación universal y aplicarla a la resolución de situaciones problemáticas de interés como la determinación de masas de cuerpos celestes, el tratamiento de la gravedad terrestre y el estudio de los movimientos de planetas y satélites.
- El problema de las interacciones a distancia y su superación mediante el concepto de campo gravitatorio. Magnitudes que lo caracterizan: intensidad y potencial gravitatorio.	Este criterio pretende comprobar si el alumnado conoce y valora lo que supuso la gravitación universal en la ruptura de la barrera cielos-Tierra, las dificultades con las que se enfrentó y las repercusiones que tuvo, tanto teóricas, en las ideas sobre el Universo y el lugar de la Tierra en el mismo, como prácticas, en los satélites artificiales. A su vez, se debe constatar si se comprenden y distinguen los conceptos que describen la interacción gravitatoria (campo, energía y fuerza), y saben aplicarlos en la resolución de las situaciones mencionadas.
- Estudio de la gravedad terrestre y determinación experimental de g . Movimiento de los satélites y cohetes.	

Fuente: Adaptado de art. 19184 RD 1467/2007, de 2 de noviembre

Anexo C

- a) Para un objeto que recorre una órbita elíptica, su distancia media al astro central coincide con el valor del semieje mayor de la elipse. Del enunciado, el perihelio del planeta es $r_1 = 200$ UA y el afelio es $r_2 = 1200$ UA, por lo que la distancia media del Planeta 9 al Sol será:

$$r = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{200 + 1200}{2} = 700 \text{ UA}$$

Puede usarse la tercera ley de Kepler para determinar el periodo orbital:

$$\frac{T_1^2}{r_1^3} = \frac{T_2^2}{r_2^3}$$

Esta aproximación es válida para planetas de masa similar, por lo que deberemos buscar otro planeta conocido con una masa parecida. Urano tiene una masa aproximada de $8,7 \cdot 10^{25}$ kg, un periodo orbital de 84 años y su distancia media al Sol es de 19,2 UA. La masa que se estima para el Planeta 9 es de $6 \cdot 10^{25}$ kg, así que podemos usar los datos de Urano para el cálculo:

$$T = T_1 \sqrt{\frac{r_2^3}{r_1^3}} = 84 \sqrt{\frac{700^3}{19,2^3}} \approx 18500 \text{ años}$$

- b) Según la segunda ley de Kepler, la recta que une el planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales, por lo que este se moverá más rápidamente al acercarse al Sol – en el perihelio – y viajará más lentamente en la región más alejada de la órbita – en el afelio –, por lo que estadísticamente es más probable encontrarlo en esa zona, ya que pasa allí más tiempo.
- c) Si se supone la órbita circular, pueden llevarse a cabo una serie de cálculos. Se debe consultar la conversión de unidades (de UA a km, de años a segundos). La velocidad de traslación del planeta alrededor del Sol vendría dada por:

$$v = \omega \cdot r = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot 200 \cdot 1,496 \cdot 10^8}{18500 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,9 \text{ km/s}$$

Considerando al planeta y al Sol como objetos puntuales en este contexto, entonces el vector posición y el vector velocidad son siempre perpendiculares. Por tanto, el momento angular del planeta respecto del Sol es un vector perpendicular al plano de la órbita del planeta, cuyo módulo es:

$$\begin{aligned} |\vec{L}| &= |\vec{r} \times m \cdot \vec{v}| = r \cdot m \cdot v \cdot \sin 90^\circ = 200 \cdot 1,496 \cdot 10^{11} \cdot 6 \cdot 10^{25} \cdot 1,9 \cdot 10^3 \\ &= 3,4 \cdot 10^{42} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

Anexo D

La actividad propuesta requiere, además de un sólido conocimiento de las ecuaciones que rigen las interacciones gravitatorias, un uso hábil de las hojas de cálculo y de sus fórmulas. El primer paso de la actividad requiere la creación de los valores para constantes y variables iniciales:

Constantes:		Variables:			
G (km ³ /kg s ²)	6,67E-20	x ₀ (km)	-6600	v _{x0} (km/s)	0
M _T (kg)	5,97E+24	y ₀ (km)	0	v _{y0} (km/s)	8
R _T (km)	6370	Δt (s)	1		

El segundo paso consiste en construir las columnas correspondientes para cada magnitud, junto a las fórmulas necesarias para su cálculo, teniendo en cuenta que en la primera fila se han de colocar algunas de las variables iniciales:

t (s)	x (km)	y (km)	v _x (km/s)	v _y (km/s)	r (km)	g(km/s ²)	a _x (km/s ²)	a _y (km/s ²)
0	-6,60E+03	0,00E+00	0,00	8,00	6600	-9,15E-03	9,15E-03	0,00E+00
1	-6,60E+03	8,00E+00	0,01	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-1,11E-05
2	-6,60E+03	1,60E+01	0,02	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-2,22E-05
3	-6,60E+03	2,40E+01	0,03	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-3,33E-05
4	-6,60E+03	3,20E+01	0,04	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-4,44E-05
5	-6,60E+03	4,00E+01	0,05	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-5,55E-05
6	-6,60E+03	4,80E+01	0,05	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-6,65E-05
7	-6,60E+03	5,60E+01	0,06	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-7,76E-05
8	-6,60E+03	6,40E+01	0,07	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-8,87E-05
9	-6,60E+03	7,20E+01	0,08	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-9,98E-05
10	-6,60E+03	8,00E+01	0,09	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-1,11E-04
11	-6,60E+03	8,80E+01	0,10	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-1,22E-04
12	-6,60E+03	9,60E+01	0,11	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-1,33E-04
13	-6,60E+03	1,04E+02	0,12	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-1,44E-04
14	-6,60E+03	1,12E+02	0,13	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-1,55E-04
15	-6,60E+03	1,20E+02	0,14	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-1,66E-04
16	-6,60E+03	1,28E+02	0,15	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-1,77E-04
17	-6,60E+03	1,36E+02	0,16	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-1,89E-04
18	-6,60E+03	1,44E+02	0,16	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-2,00E-04
19	-6,60E+03	1,52E+02	0,17	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-2,11E-04
20	-6,60E+03	1,60E+02	0,18	8,00	6,60E+03	-9,15E-03	9,15E-03	-2,22E-04
...

Para la representación de la Tierra puede hacerse algo similar. Mediante el valor del radio de la Tierra y teniendo en cuenta que $x = R_T \cdot \cos \theta$ e $y = R_T \cdot \sin \theta$, podemos construir una tabla de ángulos y calcular x e y . Finalmente, la visualización de las órbitas se consigue mediante la generación de un gráfico de tipo dispersión XY y

ajustando las divisiones y subdivisiones de los ejes para que la separación y el tamaño de estas sea el mismo para ambos ejes (la representación de la Tierra debe reflejar una circunferencia), como puede verse en la **Figura 9**.

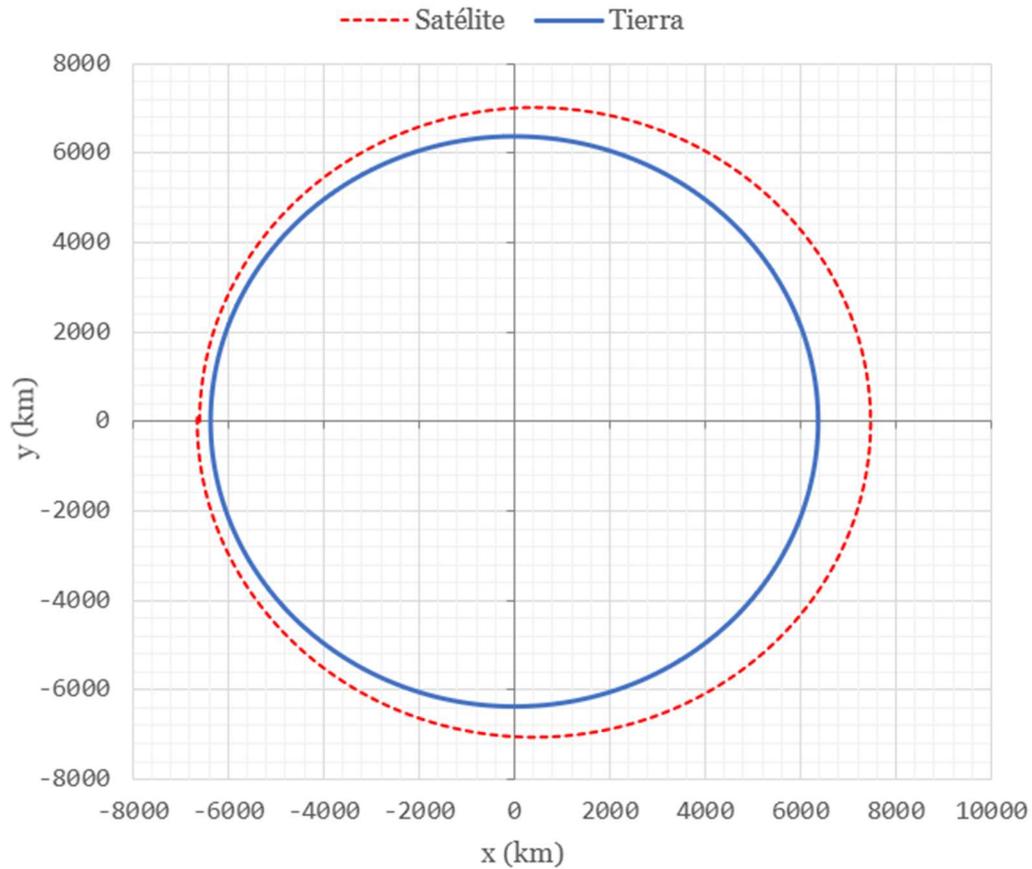


Figura 9. Visualización de órbita generada desde hoja de cálculo.

Anexo E

- a) Se debe buscar en fuentes de información fiables cuáles son la masa y el tamaño de Marte. Si asumimos $M_M = 6,42 \cdot 10^{23}$ kg y $R_M = 3,39 \cdot 10^6$ m, podemos proceder a calcular las energías:

$$E_i = \frac{1}{2}mv_i^2 - G \frac{M_M \cdot m}{R_M + h}$$

$$E_f = \frac{1}{2}mv_f^2 - G \frac{M_M \cdot m}{R_M}$$

Puesto que $\Delta E = E_f - E_i$:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) + GM_M m \left(\frac{1}{R_M + h} - \frac{1}{R_M} \right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 899 \cdot (0,6^2 - 5845^2) + 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6,42 \cdot 10^{23} \cdot 899 \\ &\quad \cdot \left(\frac{1}{3,39 \cdot 10^6 + 125000} - \frac{1}{3,39 \cdot 10^6} \right) = -1,58 \cdot 10^{10} \text{ J} \end{aligned}$$

- b) Hay que tener en cuenta que $E_p = mV$, siendo V el potencial gravitatorio. El trabajo realizado por el campo gravitatorio del planeta será, pues:

$$W = m(V_f - V_i) = E_{p_f} - E_{p_i} = -4,0 \cdot 10^8 \text{ J}$$

- c) Estamos calculando el módulo de la intensidad del campo gravitatorio. Nótese que este resultado no depende de la masa del satélite.

$$|\vec{g}| = \frac{GM_M}{(R_M + h)^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6,42 \cdot 10^{23}}{(3,39 \cdot 10^6 + 125000)^2} = 3,47 \text{ m/s}^2$$

Sin embargo, la fuerza gravitatoria sí depende de la masa en cuestión y va en la dirección radial, dirigiéndose al centro del planeta:

$$|\vec{F}| = mg = 3,12 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- d) Usamos el mismo procedimiento que en el apartado anterior, pero la distancia al centro ahora coincide con el radio de Marte, que lo sabemos.

$$|\vec{g}| = \frac{GM_M}{R_M^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6,42 \cdot 10^{23}}{(3,39 \cdot 10^6)^2} = 3,73 \text{ m/s}^2$$

$$|\vec{F}| = mg = 3,35 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- e) Para la caída libre, $v^2 = v_0^2 + 2gh \Rightarrow v = \sqrt{0 + 2 \cdot 3,73 \cdot 3700} = 166 \text{ m/s}$

Anexo F

- a) La suma de fuerzas es siempre igual a la masa multiplicada por la aceleración resultante ($F = ma$). En este caso, las fuerzas gravitatoria y centrípeta (la que corresponde a una órbita circular) deben igualarse:

$$F_{\text{centrípeta}} = m \frac{v^2}{r}$$

$$F_{\text{grav.}} = G \frac{Mm}{r^2}$$

$$\frac{GM}{r^2} = \frac{v^2}{r} \Rightarrow GM = \frac{4\pi^2}{T^2} r^3$$

De aquí podemos aislar la masa:

$$M = \frac{4\pi^2 (7,42 \cdot 10^9)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} (9,9 \cdot 86400)^2} = 3,3 \cdot 10^{29} \text{ kg}$$

- b) Hay que tener en cuenta la fórmula para el volumen de una esfera y la que se deriva de la densidad:

$$V_{\text{esfera}} = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{3m}{4\pi R^3}$$

Si se nos dice que $\rho_x = \rho_T$ y $m_x = 1,35M_T$:

$$\frac{3M_T}{4\pi R_T^3} = \frac{3m_x}{4\pi r_x^3} \Rightarrow \frac{M_T}{R_T^3} = \frac{m_x}{r_x^3} = \frac{1,35M_T}{r_x^3} \Rightarrow r_x = R_T^3 \sqrt[3]{1,35} = 7,04 \cdot 10^6 \text{ m}$$

En cuanto a la intensidad del campo gravitatorio en la superficie, deberemos usar el valor encontrado:

$$g = \frac{Gm_x}{r_x^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,35 \cdot 5,98 \cdot 10^{24}}{(7,04 \cdot 10^6)^2} = 10,9 \text{ m/s}^2$$