

Actividad 2. Newton y la fuerza de gravedad: ¡más que la caída de una manzana!

PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD

Que los estudiantes reflexionen sobre el desarrollo histórico, el significado físico y las aplicaciones de la ley de gravitación universal de Isaac Newton.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

OA 3

Analizar el movimiento de cuerpos bajo la acción de una fuerza central en diversas situaciones cotidianas o fenómenos naturales, con base en conceptos y modelos de la mecánica clásica.

OA a

Formular preguntas y problemas sobre tópicos científicos de interés, a partir de la observación de fenómenos y/o la exploración de diversas fuentes.

OA b

Planificar y desarrollar investigaciones que permitan recoger evidencias y contrastar hipótesis, con apoyo de herramientas tecnológicas y matemáticas.

OA d

Analizar las relaciones entre las partes de un sistema en fenómenos y problemas de interés, a partir de tablas, gráficos, diagramas y modelos.

ACTITUDES

Pensar con consciencia, reconociendo que los errores ofrecen oportunidades para el aprendizaje.
Pensar con flexibilidad para reelaborar las propias ideas, puntos de vista y creencias.

DURACIÓN

12 horas pedagógicas.

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Activación

- Los estudiantes leen un texto como el siguiente y después responden algunas preguntas:

¿Qué sabemos acerca de la ley de gravitación universal?

Según la opinión de muchos científicos e historiadores de las ciencias, la ley de gravitación universal de Newton es uno de los mayores logros intelectuales de toda la historia. Parecía explicarlo todo: la trayectoria que sigue una pelota en un partido de fútbol, el movimiento de los astros (planetas, lunas, asteroides, etc.), el cálculo de la masa de la Tierra, la del Sol y la de muchos otros astros; las mareas observadas en nuestros océanos e incluso predecir matemáticamente la existencia de un planeta nunca visto antes (Neptuno). También nos ha permitido hacer los cálculos para poner miles de satélites en órbita, llevar sondas a todos los planetas del sistema solar, a varios asteroides y cometas, y uno de los logros tecnológicos más importantes del siglo XX: llevar a los humanos a la Luna.

Sin embargo, este saber no apareció de un día para otro. Muchas personas desconocen que Newton, para llegar a tal conocimiento, demoró muchos años. Se basó en el estudio y las reflexiones de diversas corrientes y pensadores, cuyo proceso no fue lineal ni careció de errores, frustraciones y cambios metodológicos.

(Fuente: Texto elaborado por el equipo de ciencias de la UCE)

- ¿Qué preguntas te surgen a partir del texto?
- ¿Cuál es el objetivo del texto y cómo lo titularías?
- ¿Por qué científicos e historiadores de la ciencia consideran la *ley de gravitación universal* como uno de los mayores logros intelectuales de la historia?
- ¿Piensas que es natural que el proceso de construcción de conocimiento de Newton no fuera lineal ni careciera de errores, frustraciones y cambios metodológicos? Argumenta brevemente.

Profundización

- Los estudiantes investigan el proceso, el contexto y las consideraciones que permitieron a Isaac Newton formular la ley de gravitación universal, su importancia científica y su utilidad en la explicación de movimientos tanto en la superficie terrestre como en el sistema solar, incluyendo los satélites naturales y artificiales, la navegación espacial y las sondas que investigan el universo.

Observaciones al docente

- Recordar el contexto socio-histórico en el que se desarrolló Newton; ello debió haberse estudiado en la actividad 2 de la unidad 1, que aborda la controvertida transición del geocentrismo al heliocentrismo. No obstante, a modo de síntesis, puede destacar lo delicado que fue en el Renacimiento europeo proponer ideas diferentes al geocentrismo o a cualquier otra que fuese en contra de lo defendido por la Iglesia Católica, ya que la que las personas podían ser condenadas a muerte por la Inquisición, como ocurrió con Giordano Bruno.
- Se sugiere enfatizar en algunos aspectos de la naturaleza de la ciencia; por ejemplo: si estudia la época de Newton, es necesario cautelar y diferenciar los conceptos de gravedad y gravitación. La palabra "gravedad" ya se usaba para indicar la propiedad que tenían los cuerpos pesados (graves) de ir hacia el centro de la Tierra (o del universo, en la cosmología aristotélica). "Gravitación", en tanto, es el término que usaría Newton para indicar una interacción atractiva existente entre dos cuerpos cualesquiera del universo. Newton trabajó durante muchos años para poder comprobar la hipótesis de la extensión de la gravedad hasta la Luna, proceso donde tuvo lugar el error, el cambio conceptual y metodológico, y las frustraciones. Es necesario comprender a Newton no como un científico en el sentido actual, sino como un pensador inglés del siglo XVII, un filósofo natural envuelto en saberes característicos de su tiempo. Además de física, matemática, filosofía y astronomía, Newton fue un estudioso de la alquimia, la astrología, la

cábala, la magia y la teología. Historiadores de la ciencia han mostrado que Newton perteneció a la tradición hermética.

Puede usar la narrativa histórica

“Desmitificando el episodio de la manzana de Newton: ¿qué historia me han y he contado?”, disponible Google, o en

www.curriculumnacional/link/https://www.researchgate.net/publication/333765468_Desmitificando_el_episodio_de_la_manzana_de_Newton_que_historia_me_han_y_he_contado

- Los estudiantes analizan la expresión clásica de la ley de gravitación universal de Newton ($F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$) mediante algunas preguntas como:
 - ¿Qué representa cada uno de los símbolos que aparecen en la expresión?
 - ¿De qué factores depende la fuerza de gravedad F_g y cómo depende de tales factores? Por ejemplo, ¿qué significa que F_g sea inversamente proporcional al cuadrado de la distancia r ?
 - ¿Hay alguna distancia en que la gravedad terrestre ya no actúe?
 - ¿A qué se refiere el carácter de “universal” atribuido por Newton a esta ley?
 - ¿Por qué no apreciamos la fuerza de gravedad con que se atraen dos manzanas (o entre dos objetos cotidianos)?
 - ¿Cuál es el valor de G ? ¿Cuándo, cómo y por quién fue medida esta constante universal?
 - ¿Cómo es la fuerza gravitacional que la Tierra aplica sobre la Luna comparada con la que la Luna aplica sobre la Tierra?
 - ¿Por qué la fuerza de gravedad que nos describe Newton en su ley es de tipo central?
 - Si consideramos que $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ en la superficie terrestre, con respecto a la distancia R del centro de la Tierra, ¿cuál es la aceleración de gravedad terrestre a las distancias $2R, 3R, \dots, 60R$? Expresa los resultados en una tabla de valores.
 - ¿Cómo es un gráfico que exprese, para el caso de la Tierra, la aceleración de gravedad g en función de la distancia al centro de la Tierra?
- Seleccionan y analizan algunas consecuencias y hechos que muestran el valor científico de la ley de gravitación universal de Newton; por ejemplo:
 - Cómo explica el fenómeno de las mareas en los océanos de la Tierra y cómo a consecuencia de ellas se ha ido frenando la rotación terrestre y la lunar. ¿Existirá otros casos en el sistema solar en que el efecto de las mareas es o ha sido significativo? Las mareas que producen la Luna y el Sol sobre nuestros océanos, ¿afectarán también a nuestra litósfera y a nuestra atmósfera?, ¿tendrán alguna incidencia en la actividad sísmica?
 - Cómo el estudio del movimiento del planeta Urano le permitió a científicos como Urbain Le Verrier y John Couch Adams predecir la existencia de Neptuno, lo cual se vio confirmado por observaciones telescópicas, lo que reafirmó una vez más el valor de la ley de gravitación universal de Newton.
 - La importancia que ha tenido la ley de gravitación universal de Newton en la era espacial, que ha permitido poner en órbita terrestre satélites para comunicaciones con instrumentos científicos, estaciones espaciales, enviar sondas espaciales a todos los planetas de nuestro sistema solar, incluido Plutón, algunos asteroides y cometas; y lograr uno de los más grandes sueños de la humanidad: ir al espacio, a la Luna y próximamente a Marte.

Resolución de desafíos

- Los estudiantes aplican la ley de gravitación universal de Newton para responder preguntas y resolver algunos problemas emblemáticos; por ejemplo:
 - Determinar la masa de la Tierra, a partir del valor de la aceleración de gravedad en su superficie (aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$) y el radio de la Tierra (aproximadamente 6370 km). Comparan el valor obtenido con el que figura en diferentes fuentes.
 - Determinar la masa del Sol a partir de los siguientes datos: el período de traslación de la Tierra en torno del Sol y la distancia promedio de la Tierra respecto al Sol. Comparan el valor obtenido con el que figura en diferentes fuentes y con la masa de la Tierra.
 - Considerar el hecho de que el planeta Marte posee dos satélites. Buscan información sobre estos (el radio de sus órbitas y sus períodos de traslación) y determinan la masa del planeta. Con este dato y el radio del planeta Marte, determinan la aceleración de gravedad en su superficie. Comparan el resultado de sus cálculos con los que indican fuentes confiables.
 - ¿ De qué otros astros se podría determinar la masa a partir de la ley de gravitación universal de Newton?
 - ¿Cómo podríamos calcular la masa de nuestra Luna por medio de la ley de gravitación universal de Newton?
 - Proponer tres nuevos problemas que sean innovadores y desafiantes para sus compañeros. Argumentar su diseño desde un punto de vista disciplinar y pedagógico.

Observaciones al docente

- Considere que la constante de gravitación universal es $G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$; destacando que se trata de una de las constantes físicas más importantes, cuya ingeniosa medición por parte de Henry Cavendish tuvo importantes consecuencias.
- Para los cálculos, idealmente, usar una calculadora que trabaje con notación científica. Existen las tradicionales calculadoras científicas, pero también están las que se pueden instalar en notebooks, tablet y teléfonos celulares. Si es necesario, explicar a los estudiantes cómo se emplean para escribir y leer números expresados en notación científica.
- Explicar que, con el nivel matemático del curso, se ha considerado la aproximación de que los astros siguen movimientos con órbitas circunferenciales y uniformes, lo que significa que no podríamos considerar, por ejemplo, el movimiento de un cometa, los cuales tienen órbitas elípticas muy excéntricas. No obstante, Newton hizo el trabajo teórico en forma exacta, para lo cual tuvo que inventar una herramienta matemática magistral: el cálculo.
- Explicar que la fuerza analizada en esta actividad (la fuerza de gravedad) es, por lo menos en este momento de la historia, una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza y que parecen explicarlo todo. Las otras tres fuerzas fundamentales son las eléctricas, las nucleares fuertes y las débiles.
- Explicar también que las "acciones a distancia" han generado muchas dudas en los físicos. Incluso para el propio Isaac Newton era un gran misterio que no conseguía entender muy bien, como lo han mostrado sus principales biógrafos Richard Westfall y Bernard Cohen, reconocidos historiadores de la ciencia. Es Einstein quien en la teoría general de la relatividad, propone otra manera de entender la gravedad. Esto se estudiará en la unidad 4 sobre Física moderna, que viene a mostrar los límites de validez de mecánica clásica y la dinámica cambiante del conocimiento científico a través del tiempo.
- Consideración para la determinación de la masa de la Tierra:

Sea M la masa de la Tierra y m la masa de una manzana aquí en la superficie de la Tierra en que la aceleración de gravedad es g . Así, la magnitud de la fuerza con que la Tierra y la manzana se atraen es: $F = mg$

Pero también se puede calcular con: $F = G \frac{mM}{R^2}$ en que R es la distancia entre los centros de la manzana y de la Tierra; es decir, el radio de la Tierra. Igualando y despejando M , se obtiene $M = \frac{gR^2}{G}$

- Consideración para la determinación de la masa de un astro central:

Sea un astro de masa M que es orbitado por un satélite de masa insignificante m en una órbita circular de radio r y con un período de traslación T . Entonces, la fuerza sobre el satélite se puede calcular con las siguientes expresiones:

$$F = ma_c = m \frac{v^2}{r} = m \frac{\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

de donde se sigue que la masa M es:

$$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$$

Hacer ver que la masa del satélite (m) se simplifica y que, por lo tanto, no es posible de calcular sobre la base de las otras variables involucradas en la situación.

Divulgación de los alcances de la ley de gravitación universal de Newton

- Finalmente, el curso elabora un recurso educativo sintético sobre el tema central de la actividad, guiado por la pregunta: ¿cómo le explicarían los alcances y límites de validez de la ley de gravitación universal de Newton a su familia o vecinos?

Conexión interdisciplinar:
Lengua y Literatura.
OA 7, 3° medio.

Observaciones al docente

De ser posible, y considerando la autorización de los estudiantes, compartir el recurso educativo en las redes sociales de la Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física (SOCHEF).

Algunos indicadores para evaluar formativamente esta actividad pueden ser:

- Analizan la interacción de cuerpos a distancia, mediante el uso de conceptos y modelos de la mecánica clásica.
- Aplican modelos fisicomatemáticos para resolver problemas sobre movimientos de cuerpos debidos a la acción de una fuerza central.

RECURSOS Y SITIOS WEB



- Cautivo R. (2019). *Módulo Física Electivo 3° y 4° medio, Los conceptos y sus Fórmulas*, Editorial Cid.
- *Guía 9. Ley de Gravitación Universal de Newton* Recuperado de www.curriculumnacional/link/http://www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/cra/fisica/NM3/RFE3G_006.pdf
- Mora, C., Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol.3, No. 1, recuperado de www.curriculumnacional/link/http://www.lajpe.org/jan09/13_Cesar_Mora.pdf
- PBS Learning Media. *Fuerza centrípeta*. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/https://www.pbslearningmedia.org/resource/phy03.sci.phys.mfw.roller/centripetal-force-roller-coaster-loops/](https://www.pbslearningmedia.org/resource/phy03.sci.phys.mfw.roller/centripetal-force-roller-coaster-loops/)
- PHET. *Simulador de Gravedad y órbitas*. Universidad de Colorado. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/https://phet.colorado.edu/es/simulation/gravity-and-orbits](https://phet.colorado.edu/es/simulation/gravity-and-orbits)
- Rivera-Juárez, J.M., Rivera-Vargas, Y., Cabrera-Muruato, R. (2018). Evolución histórica del concepto de fuerza. Parte II. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 12, No. 2, recuperado de [www.curriculumnacional/link/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6556411](https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6556411)
- Wainmaier, C., Salinas, J. (2005). Incomprensiones en el aprendizaje de la mecánica clásica básica. *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 18, Nº1, 2005, pp. 39-54.