

## UNIDAD 2. Fuerzas centrales: ¿de qué tratan y cómo se manifiestan en mi vida?

### PROPÓSITO DE LA UNIDAD

Esta unidad busca que los estudiantes expliquen situaciones y fenómenos cotidianos y científicos acerca de los efectos de fuerzas centrales, considerando algunas interrogantes, como las siguientes: ¿Qué fenómenos y situaciones cotidianas son efectos de fuerzas centrales? ¿Cómo las ciencias y la tecnología emplean el conocimiento sobre las fuerzas centrales? ¿Cómo es posible que diferentes cuerpos puedan interactuar a distancia?

### 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 6. Valorar la importancia de la integración de los conocimientos de la física con otras ciencias para el análisis y la propuesta de soluciones a problemáticas actuales, considerando las implicancias éticas, sociales y ambientales.

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.

OA e. Construir, usar y comunicar argumentos científicos.

OA f. Desarrollar y usar modelos basados en evidencia, para predecir y explicar mecanismos y fenómenos naturales.

OA g. Diseñar proyectos para encontrar soluciones a problemas, usando la imaginación y la creatividad.

OA i. Analizar críticamente implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales de problemas relacionados con controversias públicas que involucran ciencia y tecnología.

## Actividad 1. ¿Cómo explico un movimiento curvo desde la física?

### PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD

Que los estudiantes empleen principios físicos y herramientas matemáticas necesarias para describir movimientos curvos en el plano y resolver problemas del ámbito cotidiano y del científico.

### 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 e

Construir, usar y comunicar argumentos científicos.

OA f

Desarrollar y usar modelos basados en evidencia, para predecir y explicar mecanismos y fenómenos naturales.

### ACTITUDES

Pensar con perseverancia y proactividad para encontrar soluciones innovadoras a los problemas. Pensar con conciencia, reconociendo que los errores ofrecen oportunidades para el aprendizaje.

### DURACIÓN

14 horas pedagógicas.

## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

### Activación

- Los estudiantes leen y reflexionan a partir de un texto como el siguiente, guiados por las preguntas propuestas a continuación.

#### ¿A qué rapidez gira la Tierra?

Como el resto de los planetas, la Tierra vino al mundo girando vertiginosamente, aunque su velocidad y rapidez nunca han sido constantes. Hace 4500 millones de años, tenía en el Ecuador una rapidez de aproximadamente 6400 km/h y el día apenas duraba 6 horas. Hoy, esta rapidez se ha reducido a 1600 km/h en el Ecuador. Una de las causas principales de esta desaceleración son las mareas, aunque también influyen las corrientes oceánicas, los movimientos de grandes masas de aire en la atmósfera [...].

El International Earth Rotation Service controla las fluctuaciones de la velocidad terrestre y decide si hay que añadir o no un segundo adicional al tiempo universal coordinado que rige el mundo para mantener los relojes sincronizados en todo el planeta.

(Fuente: Adaptación de

[www.curriculumnacional/link/https://www.muyinteresante.es/curiosidades/preguntas-respuestas/ia-que-velocidad-gira-la-tierra](http://www.curriculumnacional/link/https://www.muyinteresante.es/curiosidades/preguntas-respuestas/ia-que-velocidad-gira-la-tierra))

- ¿Qué preguntas les surgen tras la lectura del texto?
- ¿Consiguen imaginar una rapidez de 6400 km/h siendo que, en nuestra percepción del día a día, un automóvil ya lo vemos muy rápido cuando viaja a 100km/h?
- ¿Qué pensamientos y sentimientos les vienen tras leer que la Tierra, nuestro hogar, gira aproximadamente a 1600 km/h?
- ¿Por qué no sentimos este rápido movimiento?
- ¿Respecto de qué y en qué lugar de la Tierra se ha calculado esta rapidez?
- ¿Cuáles son las diferencias entre los conceptos de rapidez y velocidad?
- ¿Cómo el efecto de las mareas puede estar reduciendo la rapidez con que rota la Tierra?
- ¿Por qué la rotación de la Tierra es de 24 horas respecto del Sol y 24 horas con aproximadamente 4 minutos respecto de las estrellas? ¿Cuál es el valor verdadero?
- ¿Con qué rapidez nos estamos moviendo respecto del centro de la galaxia?
- ¿Piensan que las personas reflexionan sobre los movimientos de la Tierra en su día a día?, ¿por qué?

#### Observaciones al docente

- Es importante que los estudiantes activen sus conocimientos previos sobre cinemática abordados hasta 2° Medio. Se sugiere diseñar con libertad una etapa 0 para la actividad, donde se aborde de manera resumida lo trabajado en mecánica los años anteriores.

### Construcción de un marco conceptual

- Los estudiantes revisan un conjunto de conceptos y fórmulas que describen los movimientos curvos en el plano. Para esto:
  - Analizan definiciones de conceptos tales como: Posición ( $\vec{r}$ ), desplazamiento ( $\Delta\vec{r}$ ), distancia o camino recorrido ( $d$ ), velocidad lineal media ( $\vec{v}_m$ ), velocidad lineal instantánea ( $\vec{v}$ ), rapidez (media  $|\vec{v}_m|$  e instantánea  $|\vec{v}|$ ), velocidad angular ( $\vec{\omega}$ ), aceleración ( $\vec{a}$ ) y sus componentes centrípeta ( $\vec{a}_C$ ) y tangencial ( $\vec{a}_T$ ).
  - Aplican los conceptos antes definidos para el caso del movimiento circular uniforme y demuestran expresiones como:  $|\vec{v}| = \frac{2\pi r}{T}$ ;  $|\vec{a}_C| = \frac{|\vec{v}|^2}{r}$ ;  $|\vec{a}_T| = 0$ ;  $\omega = \frac{360^\circ}{T} = \frac{2\pi}{T}$ ; en que  $r = |\vec{r}|$  es el

radio de la circunferencia;  $\omega = |\vec{\omega}|$ , la rapidez angular y  $T$  el período de traslación (o rotación); es decir, el tiempo que tarda un objeto en dar una vuelta en la órbita circunferencial (o sobre sí mismo).

- Explican los enunciados de los tres principios de Newton desde el punto de vista vectorial y señalan diversas situaciones en que se ponen en evidencia, e identifican casos cotidianos en que hay presencia de fuerzas de diferente origen; particularmente, las del peso, la de roce y las que aplicamos nosotros al trasladar objetos o jugar a la pelota, entre otras.

#### Observaciones al docente

- Cautelar que los estudiantes no se limiten a un simple procedimiento matemático, sino que entiendan cuál es el significado físico que hay detrás de cada expresión.
- Es importante, asimismo, recordarles que el conjunto de las expresiones y fórmulas en estudio no lo hizo una persona en un día, semana, mes o de un año para otro. Esto fue producto de un proceso de construcción de conocimiento entre muchas personas de diferentes culturas y épocas, que duró más de 1500 años, donde hubo muchas dudas, confusión, errores, propuestas y replanteamientos, y no se limitaba a una sola disciplina. Esto ayuda a empatizar con la complejidad de comprender de inmediato los conceptos y fórmulas en estudio.
- Es una oportuna instancia para alertar y problematizar la estructura simplificadora de los tradicionales libros de física que se limitan a entregar información general, fórmulas y proponer ejercicios y problemas, dejando de lado aspectos de historia y filosofía de la física, que ayudan a entender los contextos académicos y socioculturales, y los obstáculos físicos, matemáticos y filosóficos que existieron para construir los conocimientos en ciencias físicas.
- Para la actividad, sería de gran ayuda que los estudiantes confeccionen afiches con las fórmulas de física que parezcan pertinentes y las pongan en lugares visibles en la sala de clases. También pueden enviar fotografías de ellas a los estudiantes del curso por WhatsApp u otras redes sociales para que las empleen cuando trabajen fuera de la sala de clases. No es importante memorizarlas, hay que entenderlas físicamente y ser capaz de aplicarlas correctamente. A este listado de fórmulas se pueden agregar los enunciados de los tres principios de Newton y la ley de gravitación universal.

### Resolución de desafíos

#### Observaciones al docente

- Es importante invitar a los estudiantes a ir mucho más allá de un paso a paso en la resolución. Para que se vuelva un verdadero desafío, se favorezca el razonamiento, la imaginación y el pensamiento crítico, se sugiere guiarles a través de preguntas como las siguientes: ¿consigo imaginarme la situación? ¿Qué otras preguntas me surgen tras la lectura del desafío?, ¿Me hace sentido lo que estoy haciendo?, ¿Es suficiente la información o datos que tengo para resolverlo?, ¿Qué consideraciones y aproximaciones debiese tener en cuenta? ¿Qué emociones me evoca este desafío? ¿Las dificultades que se me presentan, son de naturaleza matemática, física o filosófica? ¿De qué otra manera puedo resolver este desafío?, entre otras.
- Recordarles que el error y el no saber por "dónde continuar" también es una parte importante en el propio proceso de la construcción del conocimiento científico.
- Asimismo, se sugiere que, antes de pasar a resolver problemas de lápiz y papel se realicen diversas actividades demostrativas por el docente con la colaboración de estudiantes para evidenciar que la expresión fuerzas centrales sirve para describir la causa del movimiento de un cuerpo en trayectoria curva y con radio hacia un centro. Explicar, también, que no es un tipo de fuerza en particular; su naturaleza puede ser diversa: fuerza de tensión de una cuerda o una varilla, fuerza gravitacional, fuerza eléctrica o magnética, fuerza de fricción. Por ello, resulta conveniente mostrar ejemplos de cada caso citado. Por último, conviene destacar la relación entre el concepto de fuerza centrípeta y el de fuerzas centrales.

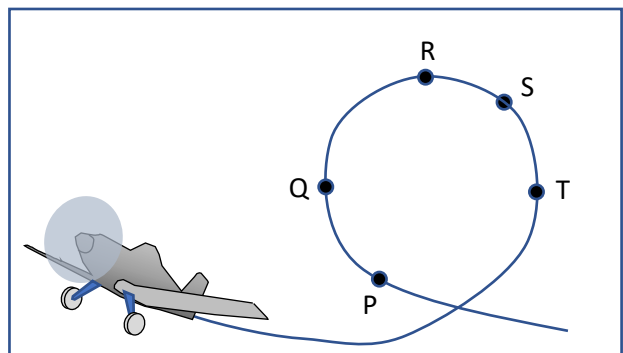
➤ Los estudiantes resuelven los siguientes desafíos:

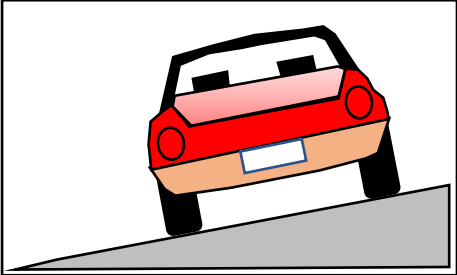
1. Un automóvil de 1430 kg se mueve en una rotonda de 100 metros de radio con una rapidez constante de 72 km/h. El conductor posee una masa de 70 kg. Responda las siguientes preguntas expresando los resultados en el SI de unidades y justificando cuando corresponda.
  - a) ¿Cuánto tiempo demora el automóvil en dar cada vuelta?

- b) ¿Cuál es su rapidez angular respecto del suelo y el centro de la rotonda? Exprésela en  $^{\circ}/s$  y en  $rad/s$ .
- c) En un instante dado y respecto del suelo, indica qué direcciones y sentidos poseen:
- La velocidad lineal
  - La velocidad angular
  - La aceleración lineal
- d) ¿Cuál es la fuerza (en dirección, sentido y módulo) que el suelo aplica al automóvil en cada instante?
- e) ¿Cuál es la fuerza (en dirección, sentido y módulo) que actúa sobre el chofer del automóvil?
- f) ¿Qué sensaciones podría estar experimentando el chofer del automóvil?, ¿por qué?
2. En un parque de entreteniones, el Tagadá (ver imagen) es una rueda de aproximadamente 8 metros de diámetro en que las personas se ubican en los bordes mientras gira. Si moviéndose uniformemente la rueda tarda un cuarto de minuto en dar cada vuelta:



- a) ¿Cuál es la rapidez de los jóvenes respecto del suelo?
- b) ¿Qué aceleración experimentan los jóvenes respecto del suelo?
- c) ¿Cuál es la rapidez angular del Tagadá, respecto del suelo?
- d) Para un joven específico y en un instante dado, respecto del suelo, ¿qué dirección y sentido poseen la velocidad lineal, la velocidad angular y la aceleración?
- e) ¿Qué otras variables físicas se podrían medir o calcular en la experiencia del Tagadá?
- f) ¿Cuáles son los riesgos asociados a un mal control de un Tagadá en un parque de entreteniones? Argumenten brevemente.
3. En un dibujo que represente a una persona viajando en un avión que hace acrobacias en el aire (como el de la figura), en una trayectoria aproximadamente circunferencial, representar por medio de flechas y en distintos momentos (por ejemplo, cuando la persona pasa por el punto P; Q, R, S y T), las direcciones y sentidos de:



4. La figura muestra el corte de una autopista o carretera por donde un automóvil viaja con una gran rapidez, pero constante.
- ¿Está viajando en línea recta el automóvil? Expliquen.
  - Dibuja las distintas fuerzas que están actuando sobre el automóvil.
  - ¿Cuál es la utilidad de la inclinación del pavimento (o peralte)? Expliquen.
  - ¿Qué consideraciones se deben tener para la definición del peralte en una carretera?
  - ¿Todas las carreteras de Chile tienen peralte?, ¿existe alguna ley o instructivo al respecto?
- 
5. A partir del video *Esfera de la muerte*, disponible en el canal de YouTube MisterGatoer, que trata de un espectáculo circense en que participan dos motociclistas, responden las siguientes preguntas:
- ¿Por qué los motociclistas pueden pasar por la parte superior de la esfera sin caerse?
  - ¿Cómo calcularían la fuerza central que actúa sobre los motociclistas?
  - ¿Qué consideraciones deben tener los dos motociclistas para no chocar entre ellos? Expliquen.
  - ¿Piensan que los motociclistas habrán estudiado bastante Física? Argumenten brevemente.
  - ¿Cuáles son los riesgos asociados a la situación en estudio?

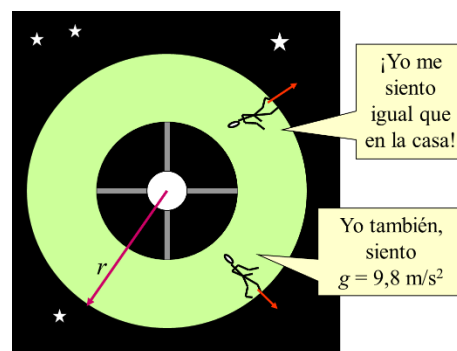
#### Observaciones al docente

- Si incorporan otros desafíos, se sugiere que los problemas y ejercicios, al igual que los propuestos aquí, estén contextualizados y secuenciados, desde los más simples hacia los más complejos, y que sean aprovechados al máximo para valorar los modelos matemáticos que emplea la física.
- Para el desafío n°5 se recomienda descargar antes el video. Asimismo, podría mostrar otros videos parecidos donde participan 4, 6 y hasta 8 motociclistas dentro de una esfera.
- Emplear preferentemente las unidades SI; las de uso cotidiano y las conversiones entre ellas.
- Respecto de la velocidad angular, recordar a los estudiantes la regla de la mano derecha (u otra) para indicar la dirección y sentido del vector  $\vec{\omega}$ , su representación gráfica (cuando entra o sale del plano) y de las unidades angulares en el sistema sexagesimal ( $^{\circ}$ ) y circular (radian).
- Preocuparse de que los estudiantes no se limiten a realizar cálculos en forma mecánica sin comprender e imaginarse lo que esos cálculos significan.
- No descarte la posibilidad de que sean ellos mismos quienes elaboren problemas, y luego los intercambien para resolverlos.
- Se sugiere, asimismo, el uso de simuladores como PhET o software como Tracker para trabajar con movimiento circunferencial uniforme. Existen varios tutoriales sobre su uso en YouTube.
- Se sugiere abordar el tema de las fuerzas ficticias, como la denominada "fuerza centrífuga", con detalle y con discusiones y análisis, ya que ese concepto está muy difundido y se emplea en forma incorrecta en una gran cantidad de medios (libros, artículos, noticias o internet).

#### Estudio de casos

- Los estudiantes construyen explicaciones sobre lo que experimentan y les puede ocurrir a las personas (jóvenes en juegos mecánicos -como montaña rusa-, pilotos de aviones de prueba, astronautas, entre otros.) cuando están sometidos a muy grandes o pequeñas aceleraciones. Para esto:

1. Estudian casos, como los ya abordados, en que están presentes las fuerzas centrípetas y las fuerzas ficticias, pero centrandó la atención en lo que sienten las personas y los efectos físicos y biológicos que se producen en ellas. Luego comparan estas aceleraciones con la magnitud de la aceleración de gravedad  $g$  que soportamos a diario en la superficie terrestre.
2. Investigan cuáles son, en función de  $g$ , las aceleraciones máximas que soportan los astronautas; por ejemplo, en sus entrenamientos y en los despegues.
3. Investigan cuáles son las alteraciones que pueden experimentar las personas al estar sometidas por tiempos prolongados a: a) grandes aceleraciones y b) situaciones de "ingravidez".
4. Analizan situaciones (futuros vehículos o estaciones espaciales) en que, por medio de rotaciones, sea posible producir efectos de "gravedad artificial". A este respecto, puede ser útil que los estudiantes analicen:
  - o Escenas de la película de ciencia ficción *Gravity*, en que ocurren muchas situaciones en "ausencia de gravedad". Discuten la pertinencia de los efectos especiales de la película.
  - o Escenas de la película de ciencia ficción *2001 Odisea en el espacio*, en que se muestra una gran estación espacial que al rotar permite que sus tripulantes sientan una aceleración de gravedad similar a la que se experimenta normalmente aquí en la superficie terrestre.
  - o La situación que se ilustra en la figura adjunta y calcular la rapidez angular y el período de rotación (respecto de las estrellas lejanas) con que debe girar la estación espacial para que sus pasajeros sientan en su interior una aceleración similar a la que tenemos en la superficie terrestre. Suponer que el radio de la estación es  $r = 400$  metros.
  - o Escenas de videos en que se muestran astronautas en la Estación Espacial Internacional (ISS) mostrando los efectos que se producen en situaciones en que "no hay gravedad". Discuten si allí, a pocos cientos de kilómetros de altura, realmente no hay gravedad terrestre. ¿Cómo se explica esta aparente contradicción?



#### Observaciones al docente

- Es importante favorecer la reflexión y el diálogo entre estudiantes, y darle espacio a sus propias preguntas que van emergiendo en la interacción.
- En esta etapa y respecto de los efectos biológicos sobre las personas al experimentar grandes aceleraciones, es conveniente que el estudiante busque refuerzos en docentes del área de biología. Por ejemplo, puede ser oportuno analizar, desde el punto de vista biofísico, la manera en que funciona el sentido del equilibrio, el efecto de la aceleración en el sistema circulatorio y el esquelético-muscular, en situaciones cotidianas y de sufrir aceleraciones extremas.
- Las películas que se sugieren se pueden hallar en [www.curriculumnacional/link/https://www.dailymotion.com/video/x2I5e3e](https://www.dailymotion.com/video/x2I5e3e) (para *Gravity* o *Gravedad*; Canal 2 On Line Best Top) y [www.curriculumnacional/link/https://vimeo.com/227985648](https://vimeo.com/227985648), para *2001: Odisea en el Espacio* (Stanley Kubrick, Estados Unidos, 1968); y una página como [www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=6iDapgMS9Og](https://www.youtube.com/watch?v=6iDapgMS9Og) o de NotimexTV (19 dic. 2017) [www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=u4xImMt6RoY](https://www.youtube.com/watch?v=u4xImMt6RoY) para ver astronautas de la Estación Espacial Internacional.
- Puede no ser necesario ver las películas completas, y seleccionar de antemano las escenas que sean de interés.

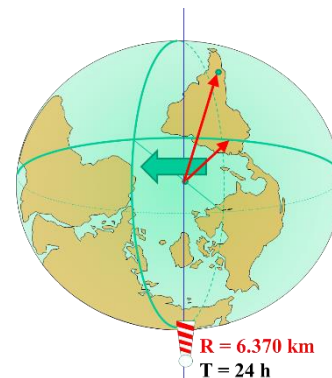
### Aplicación de cinemática vectorial

➤ Los estudiantes aplican cinemática vectorial a la solución de problemas de índole astronómico, como los siguientes:

1. Calculan la rapidez lineal, la rapidez angular y la magnitud de la aceleración centrípeta de un objeto en reposo, respecto del suelo, en cualquier latitud del planeta, debido a la rotación terrestre y respecto del Sol.

2. Antes de resolver un problema:

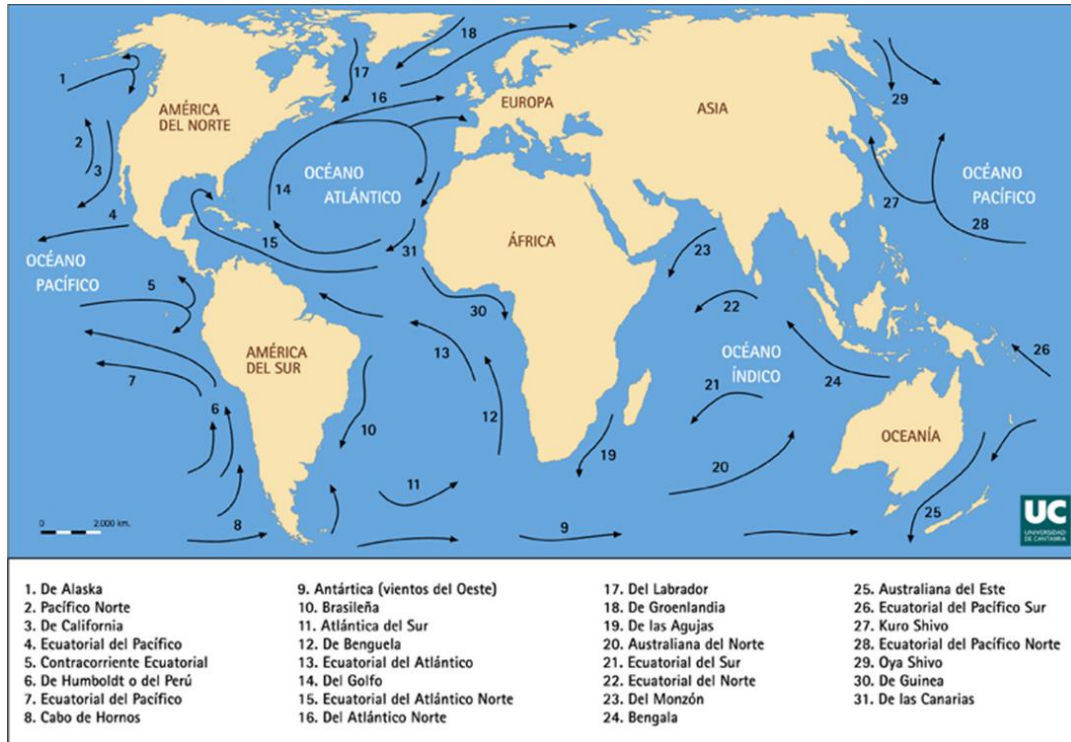
- Predicen el resultado esperado, tanto para un objeto situado en el Ecuador, como en el lugar en que viven y en los polos.
- Proponen un plan para resolver los problemas; presentan la o las expresiones matemáticas atingentes.
- Buscan la información y/o datos que requieren para resolverlos.
- Finalmente, realizan los cálculos y expresan los resultados en unidades que les resulten conocidas (km/h para la rapidez lineal; °/h para la rapidez angular y  $m/s^2$  para las aceleraciones)



3. Una vez resuelto el problema:

- Indican qué supuestos y aproximaciones hicieron al resolver el problema.
- Formulan hipótesis sobre los siguientes aspectos relacionados con la rotación terrestre: si el periodo de rotación terrestre respecto del Sol fuese de 12 horas en vez de 24, ¿sentiríamos algo diferente?, ¿percibiríamos el movimiento de rotación terrestre? Si en vez de 24 horas fuese de solo 5 minutos, ¿podríamos estar de pie en el suelo?, ¿podríamos caminar? ¿sería posible la vida en la Tierra? En el caso de que pudiéramos existir como especie, ¿qué aspectos serían diferentes en nosotros?, ¿los sistemas naturales funcionarían de la misma manera? Y si el periodo de rotación fuera de 365 días (igual al año).
- Analizan algunos mitos interesantes de ser investigados, relacionados con las fuerzas de Coriolis debido a la rotación terrestre: por ejemplo, que el agua que sale por el desagüe de un lavamanos rota en un sentido, en un hemisferio del planeta, y en el sentido opuesto, en el otro. Videos en YouTube muestran el experimento en lugares turísticos en la línea del Ecuador; sobre la misma línea del Ecuador y a pocos metros de ella. Muestra, en el primer caso, que el agua que sale de un recipiente no rota y, a pocos metros del Ecuador, que rota en el hemisferio sur en el sentido anti-horario y en el norte en el sentido horario. ¿Qué hay de cierto en todo esto? Argumenten.
- Analizan aspectos como los que encierran las siguientes preguntas: ¿cómo será el valor, la dirección y el sentido de la aceleración centrípeta obtenida, comparado con la aceleración de gravedad terrestre? Cuando se deja caer libremente y en condiciones de vacío un objeto en el lugar en que vives, en rigor, ¿describe una trayectoria rectilínea? Explica.
- Explican por qué las personas no notamos el movimiento de rotación de la Tierra y cómo se podría poner en evidencia.
- Investigan en internet las consecuencias que tiene en nuestro planeta su rotación. Consideran las corrientes oceánicas y los vientos globales (alisios y contralisios). Por ejemplo, en un planisferio que muestre las corrientes oceánicas, como el adjunto, identifican los patrones que se producen en cada hemisferio de nuestro planeta y explican las anomalías.





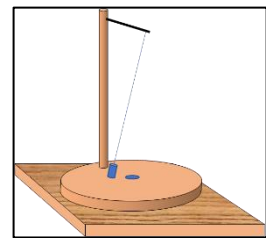
- Investigan en diferentes fuentes acerca del experimento del péndulo de Foucault. Después de enterarse de aspectos históricos, por ejemplo, del péndulo que está en el Panteón de París, responden preguntas como las siguientes: ¿por qué el péndulo debe ser tan largo? ¿Cómo funcionaría justo en la línea del ecuador?, ¿y en los polos?

#### Observaciones al docente

- Hay bastantes recursos en internet y, para los establecimientos escolares de Valdivia o cercanos, se recomienda visitar el que instaló allí el Centro de Estudios Científicos (CECs). En ese sentido, también es importante saber que también se instaló una réplica del péndulo de Foucault en Santiago, en la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
- Con materiales simples e idealmente reciclados (maderas, cartones, alambres y un hilo), se sugiere construir un pequeño péndulo (de unos 50 cm de largo) que emule al de Foucault, como el de la figura; es decir, en que su base pueda rotar sobre un eje vertical, y muestren cómo oscila el péndulo al rotar lentamente la base en que se apoya.

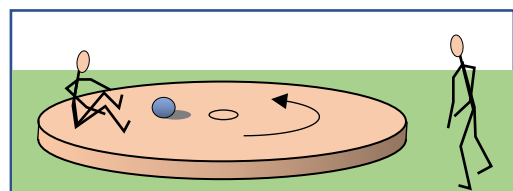
Al hacer oscilar el péndulo, los estudiantes se sorprenden cuando al girar la base observan que el péndulo sigue oscilando en el mismo plano.

Podrían describir, también, cómo se comportaría este péndulo al oscilar en diferentes lugares de la Tierra.



En una plataforma que pueda rotar, como las que existen en juegos infantiles en algunas plazas, un joven sentado en ella lanza una pelota por la plataforma. Describa la forma que sigue la pelota respecto de él, y los estudiantes la describen con respecto al suelo, como se indica en el esquema.

La actividad se puede filmar con una cámara fija a la plataforma y con una fija al suelo, y después comparar ambas filmaciones. Responden preguntas como: Si respecto de la plataforma en rotación se observa una trayectoria curva para la pelota, ¿qué fuerza la desvía? ¿Cómo definirían fuerza ficticia? Si se reconoce que la



situación es similar a la que ocupamos nosotros en la Tierra en rotación, ¿por qué no notamos efectos similares a los observados en la pelota sobre la plataforma en rotación?

4. Calculan la magnitud de las rapidezces y de la aceleración centrípeta:
  - De la Luna respecto de la Tierra y del Sol.
  - De la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del Sol y respecto de las estrellas muy distantes (estrellas fijas).
  - Del Sol en su movimiento alrededor de la galaxia, respecto de las galaxias muy lejanas.

Para las tres situaciones anteriores, indican qué datos se requieren para hacer estos cálculos, y los obtienen de fuentes que les den confianza. En todos estos casos indican también qué aproximaciones y supuestos hicieron para obtener las respuestas.

5. Buscan información acerca de las órbitas (altura, período de traslación, entre otros) que sigue la Estación Espacial Internacional (o ISS) y el telescopio espacial Hubble, entre otros, y contrastan la información con los cálculos que pueden realizarse con las fórmulas del movimiento circular uniforme. Explican, si las encuentran, divergencias en la información.
6. Reflexionan, por último, acerca de las siguientes preguntas: ¿por qué la Tierra gira sobre su eje? ¿Por qué la Luna orbita alrededor de la Tierra? ¿Por qué la Tierra y los restantes planetas, asteroides y cometas orbitan alrededor del Sol? ¿Por qué el Sol y las estrellas de nuestra galaxia rotan alrededor de la galaxia? ¿Cómo se explican todas estas situaciones?

#### Observaciones al docente

- Para que trabajen los problemas con datos reales, permita que usen internet para recabarlos y la calculadora y/o el computador para hacer los cálculos.
- Para los desafíos de la quinta etapa es suficiente con datos como: radio de la Tierra (aproximadamente 6370 km) y su período de rotación en torno del Sol (aproximadamente 24 horas), y con supuestos como: forma esférica de la Tierra y rotación uniforme. Que el radio de la órbita lunar es de aproximadamente 386 000 km y su período de traslación de unos 27 días. Que la distancia de la Tierra al Sol es de 150 000 000 km y su período de traslación 365 días. Que el radio de la órbita solar en la galaxia es de unos 27 000 años luz y que su período de traslación (año cósmico) es de 230 000 años. Como las órbitas no son completamente circunferenciales y los movimientos no son rigurosamente uniformes, los cálculos que podemos hacer con las fórmulas del nivel de este curso (movimiento circular uniforme) son solo aproximados, pero los errores no son tan grandes. Generalmente, son más importantes los errores originados en las incertezas de los datos con que contamos.
- Respecto de los mitos relacionados con ciertos efectos de las fuerzas de Coriolis, es conveniente que los estudiantes examinen críticamente, con mucho cuidado, los numerosos videos que se refieren al tema en YouTube. Lo que tales videos muestran tienen algo de cierto, pero están trucados. En rigor, el efecto Coriolis es cierto, pero a pequeñas distancias de la línea del Ecuador son indetectables y, en recipientes pequeños como en un lavamanos, menos, pues el efecto también es insignificante. Este efecto solo es observable con grandes cantidades de fluidos, como en el caso de los océanos y en nuestra atmósfera.

Algunos indicadores para evaluar formativamente esta actividad pueden ser:

- Aplican modelos fisicomatemáticos en la resolución de problemas sobre movimientos de cuerpos debidos a la acción de una fuerza central.

## RECURSOS Y SITIOS WEB



- Cádiz, F., Hevia, S., Reyes, S. (2013) *Mecánica clásica*. Departamento de Física, Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/http://info.sitios.ing.uc.cl/libros/Fisica.pdf](http://www.curriculumnacional/link/http://info.sitios.ing.uc.cl/libros/Fisica.pdf)
- *Curso Interactivo de Física*. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/index.html#](http://www.curriculumnacional/link/http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/index.html#)
- Educaplus. *Cinemática*. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/http://www.educaplus.org/games/cinematica](http://www.curriculumnacional/link/http://www.educaplus.org/games/cinematica)
- Físicanet. *Cinemática vectorial*. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/https://www.fisicanet.com.ar/fisica/cinematica/ap02\\_cinematica.php](https://www.fisicanet.com.ar/fisica/cinematica/ap02_cinematica.php)

## 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](http://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 interdisciplinaria:  
**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](http://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](http://www.curriculumnacional/link/http://www.lajpe.org/jan09/13_Cesar_Mora.pdf)
- PBS Learning Media. *Fuerza centrípeta*. Recuperado de [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, N°1, 2005, pp. 39-54.

## Actividad 3. ¿Vamos a modelizar los efectos de las fuerzas centrales?

### PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD

Que los estudiantes reflexionen sobre la importancia de modelizar fenómenos naturales y cotidianos en general, y de los efectos de las fuerzas centrales en particular.

### 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 f

Desarrollar y usar modelos basados en evidencia, para predecir y explicar mecanismos y fenómenos naturales.

OA i

Analizar críticamente implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales de problemas relacionados con controversias públicas que involucran ciencia y tecnología.

### ACTITUDES

Pensar con perseverancia y proactividad para encontrar soluciones innovadoras a los problemas.  
Pensar con conciencia, reconociendo que los errores ofrecen oportunidades para el aprendizaje.

### DURACIÓN

12 horas pedagógicas.

## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

### Activación

- Los estudiantes leen el siguiente texto y después responden algunas preguntas.

Desde el Sputnik 1, puesto en órbita en 1957, la cantidad de satélites artificiales que orbitan la Tierra ha crecido exponencialmente. Gran parte de los países poseen sus propios satélites artificiales, que parecen ser indispensables en nuestra civilización, cada vez más tecnologizada y globalizada (por ejemplo, en lo que se relaciona con las comunicaciones). Por lo tanto, entender cómo se pone en órbita, qué utilidades prestan y qué problemas implican (por ejemplo, la basura espacial) son aspectos importantes para desarrollar una opinión fundada como ciudadanos.

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

- ¿Qué interrogantes les surgen con el texto?
- ¿Cuántos satélites piensan que orbitan la Tierra actualmente?
- ¿Creen que Chile también tiene algún satélite en órbita en el espacio?
- ¿Cómo se relacionan algunos satélites artificiales en órbita con sus vidas, las de sus familias y amistades?

### Resolución de desafíos

- Teniendo en cuenta el texto anterior, los estudiantes resuelven los siguientes desafíos para profundizar:
  1. Investigan sobre los satélites artificiales que posee la Tierra, considerando:
    - Número aproximado de satélites puestos actualmente en órbita terrestre.
    - Países responsables.
    - Principales usos que se les da a los satélites artificiales.
  2. Describen de qué elementos está constituida la basura espacial y qué inconvenientes y peligros potenciales puede significar para la humanidad.

#### Observaciones al docente

- Sugerir el estudio de las emergencias que vivió la Estación Espacial Internacional en 2009 como consecuencia de la basura espacial.

3. ¿Qué países son capaces de poner en órbita los satélites artificiales? Por ejemplo, ¿quién ha puesto en órbita los satélites chilenos?
4. Explican qué les ocurre a los satélites artificiales que empiezan a interactuar con la atmósfera en órbitas bajas.
5. Explican el movimiento de los satélites artificiales en términos de fuerzas centrales.
6. Describen cómo se llevan los satélites artificiales desde la superficie terrestre hasta la altura en que orbitarán y cómo se los deja en la órbita que se desea.

#### Observaciones al docente

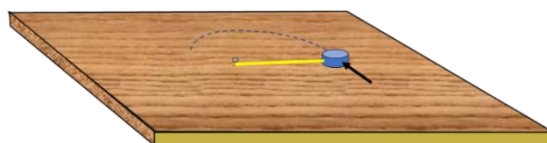
- Se sugiere que analicen un video como el que aparece en el canal de YouTube de Educacciontv, titulado *Cómo poner un satélite en órbita*, disponible en: [www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=jmDYAGkhQQ0](http://www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=jmDYAGkhQQ0).

7. Analizan cómo debiesen impulsar un objeto (dirección, sentido y rapidez) puesto a gran distancia de la Tierra (donde la acción de la atmósfera es insignificante) para ponerlo en una órbita estable, y las eventuales trayectorias que podría seguir si:
  - Se impulsa en otra dirección o con otras rapidezces.

- En la situación se considera la fuerza de roce, qué le ocurriría a un satélite que, en órbita baja, empieza a interactuar con la atmósfera.
- 8. Responden preguntas como:
  - ¿Puede ponerse en órbita un satélite artificial a cierta altura con cualquier rapidez? Argumenten.
  - Si a la Estación Espacial Internacional (ISS) –que orbita a unos 400 km de altura y en la que normalmente viven unas seis personas–, se trasladan 100 personas y la respectiva carga (20 toneladas) con comida, agua, etc. para asegurar que puedan sobrevivir, ¿se corre riesgo de que la estación se venga a tierra?
  - Si una nave espacial está en una cierta órbita alrededor de la Tierra, ¿qué se debe hacer que descienda con seguridad?
  - Respecto de los satélites artificiales “estacionarios” o “geosincrónicos”:
    - o ¿Qué caracteriza sus órbitas?
    - o ¿A qué altura respecto del suelo se encuentran?
    - o ¿En qué se los emplea principalmente?

### Desarrollo de un modelo mecánico

- En un primer momento de esta etapa, los estudiantes observan el siguiente modelo mecánico demostrativo, y luego responden algunas preguntas.



- ¿Qué interrogantes les surgen tras observar la demostración del modelo mecánico?
- ¿Qué variables físicas están involucradas en el modelo?
- ¿Qué limitaciones posee el modelo?
- Además de la fuerza central producida por el elástico o resorte, ¿hay otras fuerzas presentes?
- La fuerza central en este modelo, ¿cómo depende de la distancia al centro?
- ¿Qué serían “las fuerzas centrales” presentes en la naturaleza?

#### Observaciones al docente

- Es importante que el modelo mecánico de demostración sea presentado de manera concreta en clases.
- El modelo que se propone aquí consiste en impulsar por un plano (horizontal), un tejo atado a un elástico para billetes (o resorte) y unido, en el otro extremo, a un clavo o tachuela clavada en el plano (lámina de madera o cartón duro), como se ilustra en la figura.  
Es recomendable que el tejo sea lo suficientemente masivo y el elástico o resorte lo suficientemente “blando” para que el montaje funcione. También se sugiere poner algún material suave, por ejemplo, una felpa, en la zona del tejo que interactúa con la superficie y suavizar lo más posible el plano con el fin de reducir el roce en el sistema.
- Una variación de este modelo demostrativo puede ser reemplazar el tejo por un auto de juguete a pilas. Aquí pueden estudiar, también, el movimiento del auto sujeto a la cuerda para distintas longitudes de la cuerda, ver la relación entre periodo y radio, y velocidad tangencial y angular.
- Es un oportuno momento para enfatizar nuevamente que, en rigor, la fuerza centrípeta no es un tipo de fuerza física real más, sino la forma de llamar a alguna fuerza real que, bajo ciertas circunstancias, presenta la característica de tirar del cuerpo hacia el centro de giro.

- Luego desarrollan un modelo mecánico propio que permita simular los efectos de las fuerzas centrales. Para esto:
  - Conforman grupos de trabajo constituidos por cuatro o cinco estudiantes.
  - Planifican el trabajo: qué harán, con qué, cuándo y dónde.

- Realizan el montaje y lo prueban internamente en el grupo.
- Presentan el modelo desarrollado a sus pares y argumentan, destacando también las limitaciones que presenta.

#### Observaciones al docente

- Antes de que inicien los trabajos prácticos, describen brevemente los efectos que producen las fuerzas centrales en distintas situaciones, basados sus conocimientos de mecánica.
- Es una excelente oportunidad para favorecer la creatividad. Permítales desarrollar lo que decidan hacer, resguardando el rigor conceptual y la seguridad individual y colectiva.
- Sugiera que usen materiales reciclados para su modelo.
- Para el análisis teórico, solicitar a los estudiantes que consideren y apliquen sus conocimientos de cinemática y dinámica, y hagan predicciones fundamentadas en relación con un cuerpo situado a gran altura, más allá de la atmósfera, cuando se lo impulsa en diferentes direcciones y con distintas rapidezces.
- Puede sugerir que hagan algunas mediciones y cálculos en sus modelos mecánicos, y puedan presentar esta información con gráficos.
- Invítelos a que, tras montar y probar el modelo, introduzcan las mejoras necesarias.
- Sugiera también que vayan registrando como grupo los diversos obstáculos y sentimientos que van teniendo durante el desafío. Esto favorece su propio proceso metacognitivo y, por tanto, la autorregulación del aprendizaje.

- Analizan de manera crítica y respetuosa los modelos desarrollados por cada grupo y proponen modificaciones que permitan mejorarlos.
- Para evidenciar lo aprendido sobre el fenómeno observado, responden preguntas como: ¿por qué está ocurriendo lo observado y cuáles son las magnitudes físicas presentes? ¿Creen que, con una experiencia demostrativa, sus familias entenderían lo que es una fuerza central y sus efectos?
- Finalmente, llevan a cabo un proceso metacognitivo de lo realizado, por medio de preguntas como: ¿cuáles son los pasos que dimos hasta diseñar el modelo? ¿Cuáles fueron nuestros momentos de mayor dificultad o confusión?, ¿qué hicimos para superar los obstáculos? ¿Qué emociones o sentimientos fueron parte del proceso y cómo influyeron en nuestro compromiso personal y colectivo con el desafío? ¿Qué aprendimos y qué dudas persisten tras el trabajo?

#### Observaciones al docente

- Favorecer un ambiente de respeto y empatía.
- Se sugiere diseñar y entregar una pequeña rúbrica para evaluar el modelo mecánico de sus compañeros.
- Es importante, finalmente, realizar una retroalimentación personal y colectiva sobre el proceso llevado a cabo.

Algunos indicadores para evaluar formativamente esta actividad pueden ser:

- Modelizan fenómenos que evidencian la relación entre fuerzas centrales y movimiento.

### RECURSOS Y SITIOS WEB



- *Dinámica del movimiento circular.* Recuperado de [www.curriculumnacional/link/http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/circular1/circular1.htm](http://www.curriculumnacional/link/http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/circular1/circular1.htm)
- *Fuerza centrípeta y gravitación,* Recuperado de [www.curriculumnacional/link/https://es.khanacademy.org/science/physics/centripetal-force-and-gravitation](https://es.khanacademy.org/science/physics/centripetal-force-and-gravitation)

## Actividad 4. ¿Cómo y para qué poner un satélite artificial en órbita terrestre?

### PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD

Que los estudiantes reflexionen y analicen las dificultades que implica poner en órbita un satélite artificial, y los beneficios y las consecuencias éticas, sociales y ambientales que ello puede tener.

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

OA 6

Valorar la importancia de la integración de los conocimientos de la física con otras ciencias para el análisis y la propuesta de soluciones a problemáticas actuales, considerando las implicancias éticas, sociales y ambientales.

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 b

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

OA e

Construir, usar y comunicar argumentos científicos.

OA g

Diseñar proyectos para encontrar soluciones a problemas, usando la imaginación y la creatividad.

OA i

Analizar críticamente implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales de problemas relacionados con controversias públicas que involucran ciencia y tecnología.

### ACTITUDES

Pensar con conciencia, reconociendo que los errores ofrecen oportunidades para el aprendizaje.  
Pensar con perseverancia y proactividad para encontrar soluciones innovadoras a los problemas.

### DURACIÓN

12 horas pedagógicas.

## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

### Activación

- A modo de introducción, los estudiantes leen o escuchan un texto como el siguiente, y responden posteriormente algunas preguntas:

#### Mecánica clásica y satélites

La mecánica clásica nos enseñó a poner satélites artificiales en órbita alrededor de la Tierra, pero tuvieron que pasar más de dos siglos para que la tecnología lo hiciera posible. Hoy, varios miles de satélites prestan los más variados servicios: en las comunicaciones, en la investigación científica e incluso en el espionaje. Las personas ya no podemos desconocer esta realidad. Muchos de nosotros empleamos satélites artificiales en el diario vivir y sin darnos cuenta, ya sea en forma directa o indirecta.

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

- ¿Sabían que hay miles de satélites girando alrededor de la Tierra?
- ¿Qué ideas, preguntas y sentimientos les evoca el texto?
- ¿Piensan que es necesario o es un derecho conocer los satélites artificiales que nos orbitan como planeta?
- ¿Habría satélites artificiales hoy si Isaac Newton no hubiese existido en la historia? Argumenten brevemente.

### Investigación

- Los estudiantes desarrollan investigaciones sobre satélites artificiales, respondiendo:
  - Si con Newton tuvimos los conocimientos teóricos de mecánica necesarios para poner un satélite en órbita terrestre, ¿por qué hubo que esperar más de 200 años para hacerlo?
  - ¿Qué otras ciencias o ramas de la Física son indispensables para poner en órbita un satélite? ¿por qué?
  - ¿Cuándo usamos los ciudadanos, directa o indirectamente, satélites artificiales? Expliquen.
  - ¿Cuáles son los conocimientos físicos y matemáticos necesarios para poner en órbita un satélite?
  - ¿Cuáles son los satélites artificiales más importantes que otros países y Chile han puesto y pondrán en órbita? Consideren sus respectivas finalidades y su estado actual.
  - ¿Es importante que Chile tenga sus propios satélites artificiales?, ¿por qué?
  - ¿Cuáles son las implicancias éticas, sociales y ambientales asociadas al desarrollo, puesta en órbita y uso de satélites artificiales en la actualidad? Construyan argumentos.
- A partir de la investigación realizada sobre los satélites artificiales en órbitas terrestres, escogen uno que les interese, profundizan y luego:
  1. Responden preguntas como:
    - ¿Cuándo y por qué fue diseñado?
    - ¿Qué instrumentos porta?
    - ¿A qué país pertenece?
    - ¿Cuáles son las principales características de su órbita?
    - ¿Cuáles son sus medidas?
    - ¿Cuál es su vida útil?
  2. Socializan sus respuestas con sus compañeros, apoyados con el uso de TIC.

**Diseño**

- Los estudiantes diseñan una propuesta de satélite artificial destinado a resolver un problema para nuestro país, considerando:
  - Su finalidad y los instrumentos que portará (antenas transmisoras y receptoras, computador, cámaras fotográficas y/o de videos, termómetros, giroscopios, etc.).
  - La manera como debe orbitar la Tierra (la altura, si será una órbita ecuatorial o circumpolar, etc.) para la finalidad definida.
  - Cómo será llevado al espacio.
  - Cómo se financiará el proyecto.
  - Las implicancias sociales, éticas y ambientales de un proyecto como el definido.
  - El diseño de una maqueta a escala o un esquema que ilustre al satélite.
  
- Montan una exposición que dé cuenta de sus investigaciones acerca de los satélites y de su proyecto para la ciudadanía. Los grupos explican y defienden frente al curso, el proyecto de satélite que han definido y todas las variables que consideraron.

**Observaciones al docente**

- Hay que señalar que, para poner un satélite en órbita no bastan los conocimientos de mecánica que nos aportó Newton; fue necesario que se desarrollara una poderosa coherencia y muchos detalles de la electrónica que no estaban en su época.
- Mencionar que habitualmente empleamos satélites artificiales en nuestros computadores y teléfonos celulares cuando:
  - Usamos sistemas de geolocalización, Google Maps o sistemas de GPS (o sistema de posicionamiento global).
  - Cuando vemos televisión satelital gracias a antenas parabólicas que se conectan con satélites.
  - Cuando vemos televisión abierta o por cable que muestra programación en directo de otros países.
  - Cuando en la televisión vemos meteorólogos que hacen predicciones del tiempo. Ellos obtienen gran parte de la información que usan de los satélites, por ejemplo, sus mapas sinópticos, gracias a satélites artificiales.
- Puede aportar ideas durante el desarrollo de la actividad. Por ejemplo, en relación con la finalidad del satélite artificial, se puede sugerir uno destinado a:
  - Medir los cambios en los recursos hídricos del país, incluyendo lagunas, ríos y glaciares.
  - Descubrir antiguos asentamientos humanos y proteger recursos arqueológicos.
  - Identificar fallas tectónicas y hacer estudios sobre sismos y tsunamis.
  - Vigilar bosques para prevenir incendios forestales y deforestación.
  - Hacer una prospección de recursos minerales (metálicos y no metálicos).
  - Vigilar las fronteras para identificar tráfico de drogas o armas.
  - Proporcionar internet gratuito a toda la población.
  - Monitorear siembras y cultivos que pueden verse afectados por lluvias, sequías, heladas, etc.
  - Realizar una investigación astronómica en longitudes de onda que no atraviesan la atmósfera.
- Si los estudiantes tienen dificultades para buscar información en la primera y segunda etapas, orientarlos a buscarla en las distintas agencias espaciales que tienen las potencias del mundo y que lideran el área de los satélites (Estados Unidos, NASA; Unión Europea, ESA; Francia, CNES; Japón, JAXA; etc.).

- Finalmente, los estudiantes tienen el desafío de diseñar un experimento científico para que se haga en condiciones de ingravidez. Para esto:
  - Suponen, por ejemplo, que han ganado un premio consistente en viajar por un mes a la Estación Espacial Internacional. ¿Qué experimento científico creen que podrían realizar allí?, ¿por qué?



**Observaciones al docente**

- Para inspirarse, sugiera buscar información sobre las liceanas chilenas que en 1999 enviaron chinitas al espacio (ver, de Explora: [www.curriculumnacional/link/https://www.explora.cl/blog/2015/09/14/a-16-anos-del-viaje-a-la-nasa-la-historia-de-las-liceanas-chilenas-que-mandaron-chinitas-al-espacio/](http://www.curriculumnacional/link/https://www.explora.cl/blog/2015/09/14/a-16-anos-del-viaje-a-la-nasa-la-historia-de-las-liceanas-chilenas-que-mandaron-chinitas-al-espacio/)), lo que constituyó un gran experimento que probó la efectividad de estos insectos como eventuales controladores de plagas en el espacio.
- Otra idea motivadora para despertar el entusiasmo de los estudiantes es hacerlos reflexionar e investigar aspectos como:
  - Qué ocurre en situaciones de ingravidez con:
    - La llama de una vela.
    - Agua en un frasco a medio llenar.
    - El comportamiento de diversos animales.
    - El crecimiento de las plantas.
  - Cómo se las arreglan los astronautas con:
    - Abastecerse de oxígeno para respirar.
    - Mantener las cabinas presurizadas.
    - Salir y entrar de la Estación para realizar caminatas espaciales.
    - El aseo personal.
    - Alimentarse.
    - Dormir.
    - El reciclaje del agua.
    - El deshacerse de los desperdicios.

Algunos indicadores para evaluar formativamente esta actividad pueden ser:

- Justifican la selección e integración de conocimientos de la mecánica clásica y de otras ciencias para el análisis de problemas.
- Analizan implicancias de proyectos e iniciativas científico-tecnológicas que requieren conocer la acción de fuerzas centrales para su funcionamiento.
- Analizan implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales asociadas al desarrollo tecnológico.

## RECURSOS Y SITIOS WEB



- Duarte, C. (2019). *CelesTrak, una herramienta para entender las aplicaciones espaciales*. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/https://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=186](http://www.curriculumnacional/link/https://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=186)
- European Space Agency. *Órbitas de satélites*. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_ES/SEM3E3GXF\\_0.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM3E3GXF_0.html)
- Fuerza Aérea de Chile. *Fasat-Charlie*. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/http://www.ssot.cl/](http://www.ssot.cl/)
- Futurizable. (2017). *Descubre el interesante mundo de los satélites*. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/https://futurizable.com/satelites/](https://futurizable.com/satelites/)
- Martínez Rodríguez-Osorio, R. (2009). *Tipos de órbitas. Constelaciones de satélites*. ETSI de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/csat/material/CSAT09-2-OrbitasConstelaciones.pdf](http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/csat/material/CSAT09-2-OrbitasConstelaciones.pdf)
- NASA. (2015). *¡Somos expertos en órbitas!* Recuperado de [www.curriculumnacional/link/https://spaceplace.nasa.gov/geo-orbits/sp/](https://spaceplace.nasa.gov/geo-orbits/sp/)
- S.N. (2015) *Uso de los satélites*. Recuperado de [www.curriculumnacional/link/http://satelitesartificiales32.blogspot.com/2015/10/aplicaciones-de-satelites-estos.html](http://satelitesartificiales32.blogspot.com/2015/10/aplicaciones-de-satelites-estos.html)

## Actividad de Evaluación. Fuerzas centrales en diversos contextos

### 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 6. Valorar la importancia de la integración de los conocimientos de la física con otras ciencias para el análisis y la propuesta de soluciones a problemáticas actuales, considerando las implicancias éticas, sociales y ambientales.

OA f. Desarrollar y usar modelos basados en evidencia, para predecir y explicar mecanismos y fenómenos naturales.

### INDICADORES DE EVALUACIÓN

- Modelizan fenómenos que evidencian la relación entre fuerzas centrales y movimiento.
- Aplican modelos fisicomatemáticos para resolver problemas sobre movimientos de cuerpos debidos a la acción de una fuerza central.
- Analizan implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales asociadas al desarrollo tecnológico.

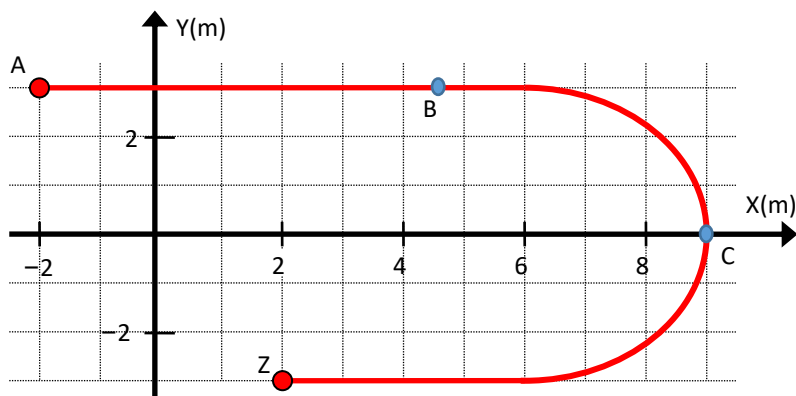
### DURACIÓN

4 horas pedagógicas.

### Descripción de los movimientos en el plano

1. Un ciclista se mueve uniformemente en el plano horizontal XY por la trayectoria que se indica, y demora 30 segundos en ir de A hasta Z. En el gráfico, las distancias están expresadas en metros.

- ¿Qué vector representa la posición del ciclista en el instante final (Z)?
- ¿Qué vector representa el desplazamiento experimentado por el ciclista en los 30 segundos?



- ¿Qué vector representa la velocidad media experimentada por el ciclista en los 30 segundos?
  - Expresen el desplazamiento experimentado por el ciclista al ir desde el punto C al Z.
  - ¿Cuál es el camino recorrido por el ciclista durante los 30 segundos de movimiento?
  - ¿Cuál es el módulo del desplazamiento experimentado por el ciclista durante los 30 segundos de movimiento?
  - ¿Qué rapidez posee el ciclista en el instante que pasa por el punto B?
  - Aproximadamente, ¿cuál es la aceleración del ciclista cuando pasa por el punto C?
  - ¿Cuál es la velocidad angular del ciclista cuando pasa por el punto C?
- Mencionen tres efectos de la rotación terrestre y cómo que se ponen en evidencia.
  - ¿Por qué en lo cotidiano no advertimos con nuestros sentidos ni la rotación ni la traslación de nuestro planeta en torno del Sol?
  - Qué efectos puede producir en los organismos de las personas el ser sometido por tiempos prolongados a:
    - Ausencia de gravedad.
    - Aceleraciones muy grandes.
  - ¿Cómo podemos simular gravedad en una nave espacial que viaja entre las estrellas?

### Análisis de los efectos de las fuerzas centrales

- Un motociclista sigue una trayectoria circunferencial en una rotonda de 100 m de radio con una rapidez de 20 m/s. Si entre él y la motocicleta poseen una masa de 140 kg:
  - ¿Cuál es la magnitud de la fuerza que actúa sobre ellos?
  - ¿Qué dirección y sentido tiene esta fuerza?
  - ¿Quién aplica esta fuerza?
  - ¿Cuál es la fuerza tangencial que actúa sobre ellos?
- Un asteroide casi esférico posee un radio de 400 km. Una sonda que se aproxima a él logra quedar en una órbita circular de 1000 km de radio y con un período orbital de 100 horas.
  - ¿Cuál es el período de traslación de la sonda en torno del asteroide?
  - ¿Cuál es la masa del asteroide?
  - ¿Cuál es aproximadamente la aceleración de gravedad en la superficie del asteroide?

**Estudio de los satélites artificiales**

1. Explican brevemente saberes de la física involucrados para poner en órbita un satélite artificial.
2. Describen brevemente la historia de los satélites artificiales chilenos y de los proyectos futuros.
3. Exhiben el modelo mecánico desarrollado en la actividad para modelar la puesta en órbita de un satélite artificial, y explican sus aciertos y limitaciones.
4. Elaboran un ensayo de no más de cuatro páginas, en torno a los beneficios de los satélites artificiales y a los problemas que están generando. Dan dos argumentos a favor de los satélites artificiales y dos en contra de ellos.