

SIR ISAAC NEWTON EN AXUDA DOS SKATERS!

VEIGUELA FUENTES, MARCELINO JOSÉ

IES Ribeira do Louro, Porriño

mveiguela@edu.xunta.gal

RESUMO: No presente traballo preséntase un problema aberto de Física para ser resolto mediante un modelo de indagación guiada. O problema aborda unha situación de aprendizaxe centrada na evolución do movemento dun *skater* que efectúa unha das acrobacias máis coñecidas do *skateboarding*, un *ollie* para despois ascender por unha rampla. Nesta estratexia de aprendizaxe por indagación, o alumnado en pequenos grupos constitúese en equipos de investigación que traballan e interactúan entre si baixo a dirección do docente que é, en todo momento unha guía, proporcionando os saberes conceptuais indispensables, sen os cales este proceso sería moi difícil se non imposible de abordar por parte dos estudantes. Consideramos que cun maior manexo conceptual por parte dos estudantes, maior probabilidade de que sexan capaces de formular preguntas investigables e abordar investigacións na aula.

Palabras clave: Indagación guiada, resolución de problemas, estratexias de aprendizaxe, *skateboarding*.

1. O modelo de resolución de problemas como indagación guiada

Pérez, Daniel e Martínez Torregrosa, Joaquín. (1983) elaboraron un modelo de resolución de problemas cun obxectivo de achegamento ás características básicas do traballo científico e do pensamento creativo. O modelo adopta un enfoque construtivista e dalgunha maneira, rexeita tanto a simple explicación da solución polo profesor, como a consideración dos datos como punto de partida. Nesta estratexia de aprendizaxe por indagación, o alumnado en pequenos grupos constitúese en equipos de investigación que traballan e interactúan entre si baixo a dirección da profesora ou profesor. Os grupos de traballo poden comprobar que as súas achegas son importantes, de tal forma, que os estudantes senten crecer a súa autoestima e a súa motivación para aprender e modificar as súas ideas previas. Estes autores (Martínez *et al*, 1986; Gil *et al*, 1987) propoñen:

- 1.-Suprimir os datos no enunciado do problema.
- 2.-Orientar aos estudantes na estratexia de resolución. Este apoio por parte do profesorado consiste en comezar por un estudo cualitativo, tratar de imaxinar a situación física, discutir os conceptos científicos implicados, tomar decisións e explicitar o que se trata de determinar. A continuación, o profesorado axuda a emitir hipóteses fundadas sobre os factores dos que depende a magnitude buscada; a que imaxinen “casos límites” de fácil interpretación física. A través deste proceso o docente pode coñecer as ideas intuitivas dos estudantes.
- 3.-Elaborar posibles estratexias de resolución.
- 4.-Realizar a resolución fundamentando o que se fai en virtude dos principios e leis da Física.
- 5.-Analizar coidadosamente os resultados á luz das hipóteses elaboradas e dos casos límites considerados. E analizar se se obtén a mesma resposta por outro camiño diferente.

Como destacan os autores, estas orientacións non constitúen un algoritmo, senón indicacións xenéricas para superar a tendencia en operativismos cegos ou a pensar en termos de certeza e non de hipótese (o que se traduce en non pensar en camiños alternativos de resolución ou en non analizar os resultados, precisamente uns dos aspectos sobre os que chaman a atención as persoas correctoras de probas ABAU (Química - CiUG, 2022).

2. Estudo dinámico do “ollie”

Descríbese a continuación un problema aberto de Física para ser resolto mediante un modelo de investigación guiada. O problema aborda unha situación de aprendizaxe centrada na evolución do movemento dun “skater” que efectúa un dos “trucos” máis coñecidos do *skateboarding* (monopatinaxe), un “ollie” para despois ascender por unha rampla. O deporte do *skateboarding* deu lugar en 2006 a un traballo de investigación da Universidade de Massachusetts en biomecánica. Por outra banda, a situación de aprendizaxe foi proposta en diversos exames de Física das probas do “bac” en Francia (o *baccalauréat*) (Réviser son bac avec Le Monde, 2019). No encabezado do exame, realmente significativo, este enunciado: *Quand Newton vient en aide aux skateurs* (Cando Newton vén en axuda dos skaters).

Explícase a continuación a secuencia didáctica, máis concretamente, os procesos de resolución que teñen lugar en clase cun problema aberto. As imaxes que en todo momento acompañan ás explicacións, cando non son de elaboración propia, foron obtidas do traballo de investigación orixinal *Biomechanics of Skateboarding: Kinetics of the Ollie* (Frederick, E. & Determan, J. & Whittlesey, S. & Hamill, J., 2006). Transcríbese un resumo de como resolven en clase o problema exposto os alumnos de bacharelato, estruturados en pequenos grupos de traballo. Adáptase como unha actividade de indagación guiada cunha discusión conceptual previa do fenómeno a investigar. Neste sentido, ao principio da clase repasáronse todos os conceptos e leis físicas tratados ao principio da unidade didáctica. Consideramos que cun maior manexo conceptual por parte dos estudantes, maior probabilidade de que sexan capaces de presentar preguntas investigables e abordar investigacións na aula.

Enunciado do problema: Sir Isaac Newton en axuda dos skaters !!

INICIO DA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA: O *skateboarding* (monopatinaxe) é un deporte co que te podes deslizar sobre unha táboa con 4 rodas. Pódense facer unha gran variedade de acrobacias como o *ollie* ou o *grind*. O *skate* é moi popular entre todos os mozos do mundo.

O Comité Olímpico Internacional (COI) anunciou que nos Xogos Olímpicos de Los Ángeles 2028 o *skateboarding* converterase en deporte olímpico permanente de pleno dereito. A confirmación do

skate como evento olímpico oficial derívase do gran éxito nos Xogos de Tokio 2021 e a emoción que xa rodea a París 2024.

O *ollie* é un “truco” aéreo sen mans, inventado por Alan “Ollie” Gelfand en 1978, e perfeccionado por Rodney Abbrandan e Withney Aguilar en 1982. É unha técnica fundamental no monopatínaxe. Dado que é a base para outras acrobacias, normalmente é o primeiro que se aprende.

Para iniciar un *ollie*, o *skateboarder* fai presión cara abaixo co seu pé posterior para levantar a táboa no aire, e inmediatamente desliza o seu pé dianteiro cara ao nariz da táboa, para nivelala e controlar a súa subida. Saltando alto e recollendo as pernas, a táboa pode alcanzar unha gran altura (Ollie, 2022, Wikipedia).

Un *skateboarder* avanza en liña recta a velocidade constante, efectúa un “*ollie*” que lle permite saltar coa táboa e realizar un “*grind*”: subir sobre un bordo dunha beirarrúa, raíl ou varanda, deslizando sobre os eixos das rodas, mantendo o equilibrio e evitando caerse.

O movemento pódese descompor na seguinte secuencia [Figura 1]:

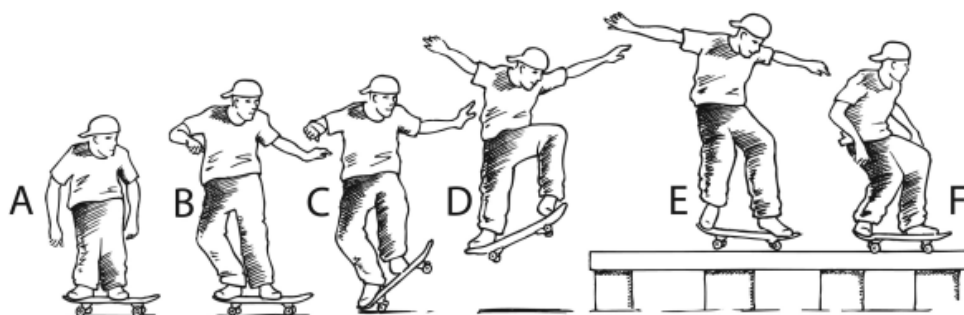


Figura 1. Secuencia de movementos nun *ollie*.

Consideremos o sistema **S** (*skater*+monopatín). En todo este exercicio, imos supor que este sistema se asimila a un punto material **G** situado a unha distancia **H** do soporte onde se atope o *skater* (sexa no chan ou encima do raíl) [Figura 2].

Imos supor tamén que durante todas as fases do movemento, a enerxía potencial gravitacional, é nula a nivel do chan. A masa do sistema *skater* + monopatín é de **75 kg**.

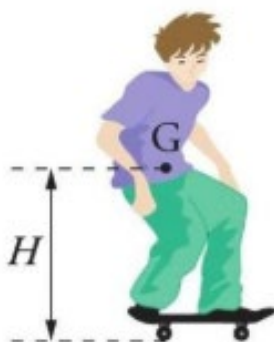


Figura 2. Sistema **S** (*skater*+monopatín).

CUESTIÓN Nº 1: Que tipo de movemento presenta o sistema **S** (*skater* + monopatín) no tramo **AB**?

PROCESO DE RESOLUCIÓN: Os estudantes imaxinan distintas situacións e tratan de ler con atención o enunciado (chamoulles moito a atención un enunciado tan longo). Pero atopan a información de inmediato no texto e recorren aos seus coñecementos adquiridos para afirmar que se trata dun MRU, movemento rectilíneo uniforme. Aproveitamos para aprender un pouco máis desta situación, sempre é fácil atopar en clase unha moza patinadora; preguntámoslle que describa o seu movemento, a forma de mover os brazos cando patina...e chegamos á conclusión de que ese xesto é o preciso para xerar unha forza muscular para vencer xusto á forza de rozamento e desprazarse con velocidade constante.

CUESTIÓN Nº 2: Que podemos dicir, no tramo **AB**, das forzas que se exercen sobre o sistema **S**?

PROCESO DE RESOLUCIÓN: Logo da discusión anterior, non dubidan en afirmar que a resultante das forzas sobre o sistema é cero.

CONTINUACIÓN DA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA: Imos agora a centrarnos no que pasa no tramo **CE**: o *skater* efectúa un *ollie* e sepárase do chan no punto **C**, momento en que a súa velocidade é v_C . Aterra no raíl ou varanda no punto **E**, cunha velocidade v_E

Desprezamos as forzas de rozamiento en todo o percorrido **CE**.

CUESTIÓN Nº 3: Escribe as expresións da enerxía mecánica (E_m) do sistema **S** (*skater* + monopatín) no punto **C** e no punto **E**.

PROCESO DE RESOLUCIÓN: A operativización desta cuestión non presenta dificultades para os estudantes, concretándose en determinar a enerxía cinética e potencial nos puntos **C** e **E**. Nun principio, habituados aos problemas de “punto material”, unha das simplificacións que máis se empregan en clase, asignan enerxía potencial nula ao patinador en **C**. Esta idea errónea nunha situación real como esta sae á luz e é discutida. Escriben entón no encerado dixital da aula as expresións solicitadas.

Por definición de enerxía mecánica: $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgz$, onde “**z**” é a altura do centro de gravidade do sistema. No punto **C**: $E_m(C) = \frac{1}{2}mv_C^2 + mgH$ e no punto **E**, tendo en conta a altura “**h**” da plataforma, que se suma á altura **H** do centro de gravidade do *skater* (patinador): $E_m(E) = \frac{1}{2}mv_E^2 + mg(H + h)$

CUESTIÓN Nº 4: Sabendo que desprezamos toda forma de disipación de enerxía entre os puntos **C** e **E**, determina a expresión da velocidade v_E no punto **E**, en función **g**, **h** e v_C .

PROCESO DE RESOLUCIÓN: O diálogo sobre a cuestión de que formulen hipótese sobre os factores de que dependerá a velocidade no punto **E** e de que estimen o seu valor, en comparación con v_C , é unha ocasión para que os alumnos saquen á luz as súas ideas previas e desta forma podamos incidir sobre elas. Existen estudantes que cren que a velocidade do *skater* cando aterra na plataforma é cero. Esta idea, con escasa ou ningunha xustificación, é facilmente corrixida a través do diálogo. É moi frecuente escoitar dicir que dependerá da masa ou do peso do *skater*. De novo é preciso o diálogo ou o apoio do profesorado para considerar a simplificación importante que se asume neste problema: “desprezamos as forzas de rozamento en todo o percorrido **CE**”. Agora ben, é preciso comentar aos estudantes que esta hipótese emitida queda pendente de xustificación, que nun caso real habería que cuantificar o erro asumido ao desprezar o rozamento co aire e a perda enerxética inicial no salto e ver se ese erro é asumible.

Solicítase aos grupos que elaboren unha estratexia de resolución, unha vez asumido que desprezamos as forzas de rozamento entre **C** e **E**. Xorde a seguinte: Se desprezamos toda forma de disipación de enerxía entre **C** e **E**, entón a enerxía mecánica conservarase $E_m(\mathbf{C}) = E_m(\mathbf{E})$, por tanto:

$$\frac{1}{2}mv_C^2 + mgH = \frac{1}{2}mv_E^2 + mg(H + h), \text{ é dicir: } \frac{1}{2}v_C^2 - gh = \frac{1}{2}v_E^2, \text{ xa que logo: } v_E = \sqrt{v_C^2 - 2gh}.$$

Unha pequena discusión neste punto para analizar a validez do resultado, en virtude do Teorema de Conservación da Enerxía Mecánica en ausencia de rozamento, a velocidade no punto **E** necesariamente ten que ser menor que en **C** (momento do lanzamento) debido a que no punto **E** o *skater* atópase nunha altura maior que a do punto inicial.

CUESTIÓN Nº 5: Deducir o valor da velocidade v_E no punto **E**.

PROCESO DE RESOLUCIÓN: A resolución agora non ten dificultade para os estudantes; buscan no texto se hai datos dispoñibles. Atopan a velocidade do *skater* no punto **C** cando inicia o *ollie* e a altura da plataforma: $v_C = 3,6 \text{ m/s}$ e $h = 45 \text{ cm}$. $v_E = \sqrt{3,6^2 - (2)(9,8)(0,45)} = 2,0 \text{ m/s}$. Insístese neste punto de que son as hipóteses as que determinan o que debe considerarse “datos” necesarios. E que os datos dun problema moitas veces non se deben tomar como punto de partida, senón que é máis apropiado unha análise cualitativa da situación.

CONTINUACIÓN DA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA: Imos agora a interesarnos no movemento do sistema **S** (*skater* + monopatín), cando escorrega sen rodar sobre os eixos das rodas, desde o punto **E** até o punto **F**. Neste caso, non podemos desprezar as forzas de rozamento. Imos chamar á resultante destas forzas de rozamento F_{roz} , unha forza única, constante e oposta ao sentido do movemento.

CUESTIÓN Nº 6: A gráfica que se presenta [Figura 3], mostra a evolución dos valores da enerxía potencial (E_p), da enerxía cinética (E_c) e da enerxía mecánica (E_m) do sistema **S** (*skater* + monopatín) durante o percorrido **EF**. Atribuír a cada curva a enerxía que lle corresponde. Xustifica a túa elección.

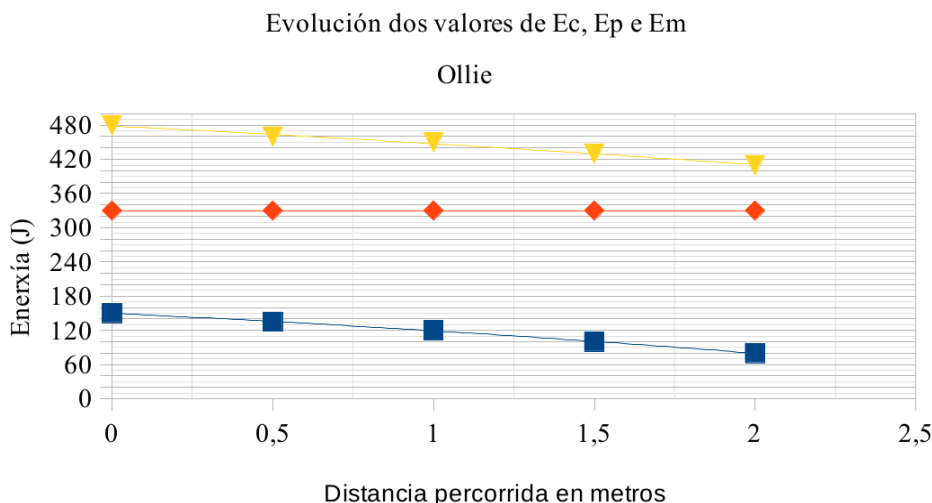


Figura 3. Evolución dos valores da enerxía no tramo EF.

PROCESO DE RESOLUCIÓN: Solicítase aos grupos que escollan a curva que corresponde a cada tipo de enerxía. Sen moita dificultade e co apoio docente, formulan a hipótese de que se as forzas de rozamento xa non son desprezables, a velocidade do sistema descenderá co transcurso do tempo. Deseñamos un pequeno experimento para confirmar a hipótese, convertendo a aula de 1º bacharelato durante uns minutos nunha pista improvisada de patinaxe, realizando varias réplicas que provocaron un maior ambiente de confianza e motivación na clase. Como a enerxía cinética é función da velocidade, entón a curva inferior corresponde á enerxía cinética. Pola outra banda, como o patinador desliza entre o punto E e o punto F, a súa altitude permanece constante e como a enerxía potencial é proporcional á altitude, a liña recta central corresponde á enerxía potencial. Deducen facilmente que a curva superior corresponde a $E_m = E_c + E_p$.

CUESTIÓN Nº 7: Escribe a expresión do traballo da forza de rozamento F_{roz} ao longo do tramo EF.

PROCESO DE RESOLUCIÓN: Neste apartado intervén o docente como guía do proceso, pídeselles que escriban a expresión do traballo mecánico: $W = Fdcos\alpha$, a continuación que debuxen o diagrama de sólido libre do sistema [Figura 4].

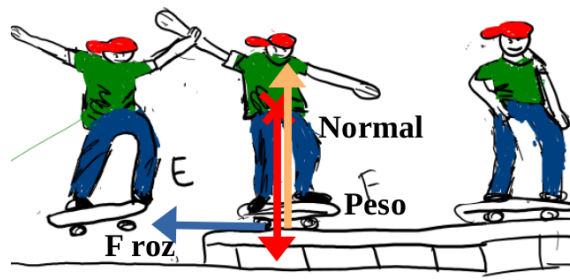


Figura 4. Diagrama de sólido libre do sistema.

A continuación, en pequenos grupos, escriben as expresións do traballo mecánico para cada unha das forzas que interveñen, tal e como fixeron en clase durante a realización dos exercicios e cuestións razoadas de aplicación. Coinciden todos no resultado de que o traballo mecánico é nulo por parte da forza normal e o peso, por ángulo de 90° coa dirección do movemento ($\mathbf{W}_N = \mathbf{W}_P = 0$) e que o traballo da forza de rozamento é $W_{F_{roz}} = F_{roz}d\cos 180 = -F_{roz}d$

CUESTIÓN Nº 8: Utilizando o Teorema de Conservación da Enerxía Mecánica (TCEM) en presenza de forzas non conservativas (rozamento), deducir o valor da forza de rozamento.

PROCESO DE RESOLUCIÓN: Solicítase de novo aos grupos que elaboren unha estratexia de resolución. A hipótese de partida, na que todos os grupos están de acordo, é que no tramo EF xa non se conservará a enerxía mecánica, xa que existe unha disipación enerxética en forma de calor ou ruído, produto da forza de rozamento. Na posta en común constátase que ningún grupo aplica o Teorema das forzas vivas (certo que tampouco nós como docentes traballamos demasiado este enfoque rigoroso dos problemas de rozamento en clase): $\Delta E_c = \Sigma_{E \rightarrow F} (\vec{F}_{ext}) = -F_{roz}d$

$$F_{roz} = \frac{-\Delta E_c}{d} = \frac{E_c(E) - E_c(F)}{d} = \frac{[\frac{1}{2}mv_E^2 - E_c(F)]}{d}$$

Xorde en cambio de forma natural a aplicación do Teorema de Conservación da Enerxía Mecánica (TCEM) en presenza de forzas non conservativas (rozamento),

$$\Delta E_c + \Delta E_p = W_{F_{roz}}$$

$$(E_c(F) - E_c(E)) + (E_p(F) - E_p(E)) = -F_{roz}d,$$

sendo $\Delta E_p=0$ por non existir variación de altura entre os puntos **E** e **F**. Despexan a forza de rozamento e obteñen a mesma expresión.

$$-F_{roz} = \frac{E_c(F) - E_c(E)}{d} \rightarrow F_{roz} = \frac{[\frac{1}{2}mv_E^2 - E_c(F)]}{d}$$

Unha vez analizados os resultados, pódese proceder ao manexo de datos concretos. Os tratamentos numéricos teñen tamén o seu interese formativo e a consideración da viabilidade dun certo valor pode formar parte da análise dos resultados (Meneses *et al*, 2018).

Neste caso concreto expónselles o reto de pescudar o valor da enerxía cinética no punto **F**, para o que teñen que facer uso dunha gráfica construída a partir de datos obtidos mediante a análise co software *Tracker* dunha secuencia de vídeo dun salto *ollie*. Ao alumnado cústalle sacar información dunha gráfica, necesitan o apoio docente; danse conta que a distancia percorrida no tramo **EF** é de 2,0 metros e que o valor da enerxía cinética en **F** é (lendo a ordenada correspondente), 80 J. A resolución agora xa non ten dificultade para os estudantes.

$$F_{roz} = \frac{[\frac{1}{2}(75)(2,0^2) - 80]}{2,0} = 35N$$

CONTINUACIÓN DA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA: Estudemos agora o que pasa cando o *skater* abandona o raíl ou a varanda. As súas rodas están de novo no chan e rodan sen rozamento cara a unha rampla. O/a *skater* toma impulso no punto **K** para abordar a rampla: a velocidade horizontal alcanzada neste punto é $v_K = 4,5$ m/s [Figura 5].

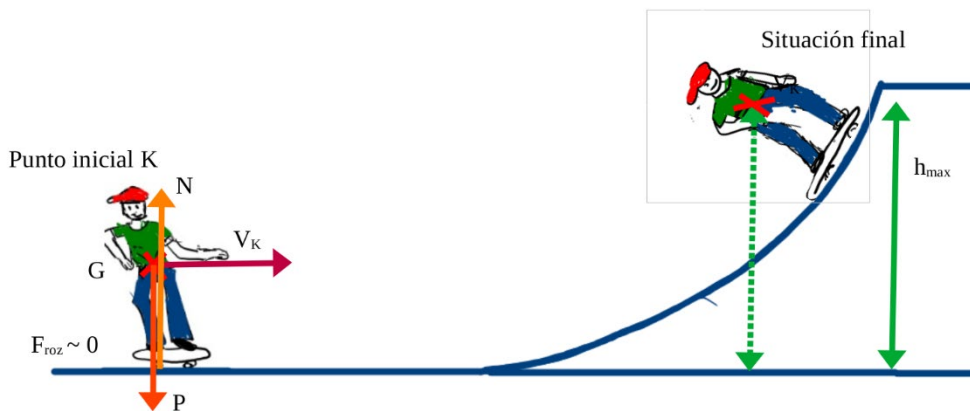


Figura 5. Subida do skater nunha rampla.

Alcanza o punto máis alto da rampla con velocidade nula.

CUESTIÓN Nº 9: Determina á altura da rampla.

PROCESO DE RESOLUCIÓN: Os estudantes non atopan dificultade en expor a modo de hipótese que a altura alcanzada polo *skater* na rampla dependerá da velocidade inicial coa que inicia o exercicio ou “truco skate”, na terminoloxía deste deporte. Adoitan aludir tamén a outras variables como á forza de rozamento, á masa do sistema ou incluso, ó tempo que tarda en deterse no punto

máis alto. Pero rapidamente xorden comentarios na clase sobre a dependencia deste tempo dos factores anteriormente considerados. De todos os xeitos, de acordo á metodoloxía de resolución de problemas proposta por Gil *et al.*, (1987), previamente preparamos aos estudantes no sentido de permitir de entrada a formulación de calquera hipótese sen pasar a criticalas de entrada. Posteriormente, pásase á discusión das hipóteses. Os estudantes expresan que a altura alcanzada na rampla aumentará se o fai a velocidade inicial. Por outra banda, canto maior sexa a aceleración (maior forza de rozamento para un valor da masa determinado), menor será a altura alcanzada. Unha segunda lectura da situación exposta no problema fai chamar a atención sobre o feito de que as rodas do monopatín “rodan sen rozamento cara á rampla”, tradución literal do apartado do problema proposto nas probas do “bac” en Francia de 2017 (“...les roues du skate...et roulent sans frottement...”) que utilizamos como modelo nas nosas clases (Réviser son bac avec Le Monde, 2019). Impulsamos ao alumnado a que reflexione sobre esta afirmación e se é posible poder “rodar sen rozamento” ou mesmo “poder andar sen rozamento”. Chegamos entre todos a deducir que a pregunta mellor formulada podería ser que as rodas do monopatín “rodan sen deslizar” cara á rampla, é dicir, que non hai movemento relativo entre as rodas e a superficie da pista no punto instantáneo de contacto. Un tratamento máis rigoroso do tema da rodaxe excede do alcance dos criterios de avaliación en bacharelato, aínda que comeza a aparecer o tema do momento de inercia e a ecuación fundamental da dinámica de rotación na programación didáctica LOMLOE de Física e Química 1º Bacharelato. Para operativizar a resolución do apartado decídese considerar a simplificación exposta no enunciado e asumir a ausencia de rozamento, de tal forma que se poida calcular a altura máxima alcanzada na rampla mediante un tratamento enerxético en presenza de forzas conservativas. Trataríase entón dunha transformación do sistema *skater* + monopatín que pasa desde o punto inicial \mathbf{K} cunha velocidade \mathbf{v}_k e que por tanto, ten unha enerxía cinética $E_c(\mathbf{K})$ e unha enerxía potencial inicial con respecto á pista $E_p(\mathbf{K}) = m g H$, a outro estado, o punto máis alto, no que a súa velocidade, a súa enerxía cinética, é nula (circunstancia que aparece claramente explicitada no enunciado orixinal do problema). Os estudantes non atopan dificultade en abordar a resolución propiamente dita: como a enerxía mecánica consérvase, tendo en conta a ausencia de rozamento:

$$\Delta E_c + \Delta E_p = 0$$

$$(0 - E_c(K)) + (E_p(h_{max}) - E_p(K)) = 0$$

$$\left[0 - \frac{1}{2}mv^2(K)\right] + [mg(h_{max} + H) - mgH] = 0$$

$$\frac{-1}{2}mv^2(K) + mgh_{max} = 0, \text{ de onde } h_{max} = \frac{v^2(K)}{2g} = \frac{4,5^2}{(2)(9,8)} = 1,0m$$

Tal e como os estudantes anticipan ao formular as hipóteses, a altura máxima alcanzada depende da velocidade inicial coa que inicia o movemento, aumentando ou diminuíndo se a velocidade en \mathbf{K} faino e cumprindo o caso límite evidente de que se a velocidade é nula, tamén o é a altura alcanzada. O papel da masa queda agora clarificado no sentido de que o balance de enerxía non depende da masa debido a que se pode facer a simplificación. Unha breve explicación por parte do docente, sobre todo para que os estudantes comprendan que a Física non é un corpo de coñecementos pechado, indicando que “a simplificación das masas” é posible unha vez se acepta a hipótese de que a masa inercial resulta igual á masa gravitacional. Na mecánica de Newton esta igualdade non pasaba de ser un postulado e durante moito tempo tratouse de probar a veracidade disto. Finalmente, a finais do século pasado, e en base á Teoría Xeral da Relatividade, logrouse confirmar dita igualdade.

3. Conclusións

En resumo, a metodoloxía de resolución de problemas de Física como indagación guiada proposta nesta actividade de lapis e papel, supón realizar un estudo previo, cualitativo da situación. Non hai moitos datos iniciais ou son inexistentes, o enunciado convencional pechado convértese noutro aberto capaz de xerar un traballo máis acorde cunha metodoloxía de investigación. Precísase emitir hipótese sobre os factores de que pode depender a magnitude buscada, supoñendo casos límites de fácil solución. O docente en todo momento é unha guía no proceso, proporcionando os saberes conceptuais indispensables sen os cales este proceso sería moi difícil de abordar por parte dos estudantes.

4. Referencias

- Frederick, Edward & Determan, Jeremy & Whittlesey, Saunders & Hamill, Joseph. (2006). Biomechanics of Skateboarding: Kinetics of the Ollie. *Journal of applied biomechanics*. 22. 33-40.10.1123/jab.22.1.33. Recuperado en: https://www.researchgate.net/publication/7021835_Biomechanics_of_Skateboarding_Kinetics_of_the_Ollie (Consulta, 26 febreiro de 2023).
- Gil Pérez, D.; Martínez Torregrosa, J. (1987): La resolución de problemas en Física. Una didáctica alternativa. Barcelona. VicensVives/MEC. Recuperado en: https://www.researchgate.net/profile/Joaquin-Martinez-Torregrosa/publication/316657858_La_resolucion_de_problemas_de_fisica_Una_didactica_a_alternativa/links/590a14820f7e9b1d0823c5a5/La-resolucion-de-problemas-de-fisica-Una-didactica-alternativa.pdf (Consulta, 26 febreiro de 2023).
- Martínez Torregrosa, Joaquín & Pérez, Daniel. (1986). La resolución de problemas como instrumento de cambio metodolóxico. 10.13140/2.1.2680.0326. Recuperado en: https://www.researchgate.net/publication/268148094_La_resolucion_de_problemas_como_instrumento_de_cambio_metodologico (Consulta, 26 febreiro de 2023).
- Meneses Villagrà, Jesús Ángel & Gebara, María José. (2018). Estrategias didácticas para la enseñanza de la Física. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos. ISBN: 978-84-16283-42-2
- Ollie. (2022, 30 de marzo). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 14:00, febrero 25, 2023 desde <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ollie&oldid=142597795>.
- Pérez, Daniel & Martínez Torregrosa, Joaquín. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*. 5. 447-455. 10.1080/0140528830050408.
- Química – CiUG. Valoración dos resultados das ABAU de Química (2022). Disponible en https://www.ciug.gal/PDF/Grupos_Traballo_2023/24_quimicavaloracion_22.pdf (Consulta, 26 febreiro de 2023).
- Réviser son bac avec Le Monde Terminale, Série S Physique-Chimie (2019). Hors-série Le Monde. Recuperado en: <https://labolycee.org/quand-newton-vient-en-aide-aux-skateurs> (Consulta, 26 febreiro de 2023).