



Entre leyes y manzanas

Se organiza el Universo...

Angelina Rodríguez | Maestra. Coordinadora del equipo de Ciencias Naturales del IFS. Diploma superior en Enseñanza de las Ciencias (FLACSO). Diploma superior en Enseñanza y Constructivismo (FLACSO). Especialista en Educación y Constructivismo (FLACSO).

Donald Conde | Maestro. Integrante de equipo y Formador de Ciencias Naturales de PAEPU. Formador de Ciencias Naturales del IFS. Estudiante avanzado en Licenciatura en Ciencias de la Educación.

Un poco de historia...

Isaac Newton se encontraba descansando debajo de un árbol de manzanas de su casa de campo de Lincolnshire, Inglaterra, en tiempos en que la epidemia de peste bubónica castigaba Londres, cuando de repente cayó al suelo un fruto del árbol. Ese hecho, en una tarde del verano de 1665, lo llevó a reflexionar, a pensar sobre qué provocaba que la manzana fuera atraída hacia la Tierra, y a concebir la ley de Gravitación Universal.

La veracidad de esta historia de la ciencia ha sido puesta en duda ininidad de veces. En 2010 se publicó un manuscrito del físico Stukeley (contemporáneo y amigo de Newton), titulado "Las memorias de la vida de Newton", que constituye una prueba fehaciente acerca de la autenticidad de esa historia.

«...Stukeley (...) fue testigo de sus reflexiones en torno a la teoría de la gravedad cuando ambos estaban sentados bajo la sombra de los manzanos que el científico tenía en el jardín de su casa. [...]

"Me dijo que había estado en esta misma situación cuando la noción de la gravedad le asaltó la mente. Fue algo ocasionado por la caída de una manzana mientras estaba sentado en actitud contemplativa. ¿Por qué esa manzana siempre descendía perpendicularmente hasta el suelo?, se preguntó a sí mismo".» (Sanz, 2010)

Otra versión de los hechos es la narrada en la tercera edición de los *Principia* por el físico Pemberton, caracteriza por las preguntas que incluye.

«Estando solo en el jardín (Newton) empezó a meditar acerca del poder de la gravedad. Esta no se encuentra visiblemente disminuida ni aun a las más grandes distancias del centro de la Tierra; su acción se extiende al tope de los más altos edificios como a la cima de las montañas más elevadas. Le parecía razonable concluir que este poder seguía siendo eficaz en distancias más remotas aún. ¿Por qué no admitir que se ejerce sobre la Luna? Si así fuera, ¿actuaría sobre su movimiento? preguntaba. Tal vez la Luna esté retenida por esta fuerza en su órbita. Aun cuando el poder de la gravedad (razonaba Newton luego) no es sensiblemente disminuido en los pequeños cambios de distancia, en las que nosotros podemos colocarnos con respecto al centro de la Tierra, es muy posible que en la altura de la órbita lunar este poder tenga una intensidad muy diferente de la que posee aquí. Para evaluar cuál podría ser el grado de disminución, suponía que de ser retenida la Luna en su órbita por la fuerza de gravedad, indudablemente también los planetas estarían llevados en torno al sol por un poder similar.» (Pemberton apud Rodríguez Jaque, 1988).

Newton tuvo la perspicacia de apreciar que la fuerza existente entre la Tierra y una manzana que cae es la misma que la fuerza que tira de la Luna, llevándola a describir una trayectoria orbital en torno a la Tierra. Esta trayectoria es similar a la de un planeta que se mueve alrededor del Sol. Con el objetivo de validar su hipótesis comparó la caída de una manzana con la “caída” de la Luna. Entonces interpretó que la Luna cae en el sentido de que *se aleja de la línea recta que hubiera seguido de no haber fuerza que actuara sobre ella*, “cae alrededor” de la Tierra redonda. Pero no fue sino luego de múltiples cálculos y datos experimentales que alcanzó a enunciar la conocida ley de Gravitación Universal: *dos cuerpos cualesquiera siempre se atraen por el solo hecho de tener masa, esta fuerza de atracción es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.*

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

En la escuela no debemos trabajar el cálculo matemático, sino buscar relaciones entre la fuerza, las masas de los cuerpos y la distancia a la que se encuentran. De este modo puede construirse la idea de que dados dos cuerpos, a mayores masas la fuerza de atracción entre ellos será mayor, así como también una mayor o menor distancia incide inversamente en la fuerza de atracción.

Adaptado de Hewitt (2004)

Las ideas de los niños...

Desde muy pequeños, los niños construyen ideas relacionadas a la caída de los objetos. Estas ideas son claves al momento de pensar la enseñanza, ya que influyen sobre lo que los niños dicen, hacen o piensan al momento de apropiarse de nuevas ideas para buscar explicaciones sobre los fenómenos. De allí la importancia de que el maestro las conozca para pensar su intervención.

Varias son las investigaciones y los relevamientos que dan cuenta de estas ideas. Seleccionamos algunas.

Los cuerpos caen atribuyendo su causa al empuje del viento o al peso de los objetos; la gravedad es una fuerza que actúa a distancia; no la perciben como una interacción sino que la aplica un objeto que es el que la posee; identifican a la Tierra y la Luna como los únicos objetos que tienen gravedad; no tienen en cuenta la cantidad de masa ni la distancia considerada entre ellos. (cf. Equipo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias Naturales, 2015)

Los objetos no necesitan de una fuerza para caer, ya que ellos siempre quieren ir hacia abajo. No hay fuerza alguna en una pelota que está cayendo, solo hay una fuerza mientras es sostenida, pero al soltarla cae libremente, la pelota quiere ir hacia abajo. (cf. Mora y Herrera, 2008)

«La gravedad es una propiedad de la Tierra, y únicamente de ella.

La gravedad es una fuerza que “cae” sobre los cuerpos, diferente del peso. [...]

El campo gravitatorio acaba cuando termina la atmósfera.» (Fracaro y Perales, 2014)

«Es una fuerza ejercida por los cuerpos, y cuanto más lejana es la distancia, tanto menor será la fuerza.» (Osborne y Freyberg, 1998:147)

Hay una relación entre la gravedad y la altura sobre la superficie de la Tierra, a mayor altura mayor es la fuerza de gravedad. (cf. Osborne y Freyberg, 1998)

Los planetas del Sistema Solar orbitan alrededor del Sol debido a que el Sol posee una fuerza de gravedad que es muy fuerte en relación con la que tienen los planetas. (cf. Manjares, Alejo y Slisko, 2011)



Ideas a construir

Si bien el contenido a trabajar presenta cierta dificultad por su grado de abstracción y modelización, creemos que es posible su tratamiento en la etapa primaria si se abordan ideas clave que los aproximen a la comprensión del fenómeno. Trabajar con ellas, lejos de simplificar el problema, permite considerar las variables que intervienen.

Las siguientes ideas pueden fundar las bases del concepto:

- ▶ Lo que hace que los objetos “caigan” al suelo es una fuerza.
- ▶ La Tierra, por tener una gran masa, atrae a los objetos hacia ella.
- ▶ Esa fuerza se ejerce a distancia y hacia el centro de la Tierra.
- ▶ Todos los objetos, por el hecho de tener masa, ejercen esta fuerza sobre los demás objetos.
- ▶ Cuanto mayor es la masa del cuerpo, mayor será la fuerza de atracción.
- ▶ La distancia entre los cuerpos también es una variable a considerar, pero su acción es inversamente proporcional.
- ▶ La Luna se encuentra en órbita alrededor de la Tierra por la misma causa por la que los objetos caen hacia la Tierra cuando los soltamos. Esa causa también explica por qué los planetas orbitan alrededor del Sol.

Desde el proceder de la ciencia es posible construir ideas metodológicas con los niños como: la observación es subjetiva y depende de las ideas que posee el observador a la hora de buscar evidencias e interpretarlas; la ciencia elabora modelos como forma de explicar y predecir fenómenos; el conocimiento es una construcción humana que requiere de imaginación y relación de fenómenos fundados en evidencia empírica; un mismo fenómeno puede ser explicado por diferentes modelos, prevalece en el tiempo aquel que tiene mayor poder explicativo.

Algunas actividades para problematizar...

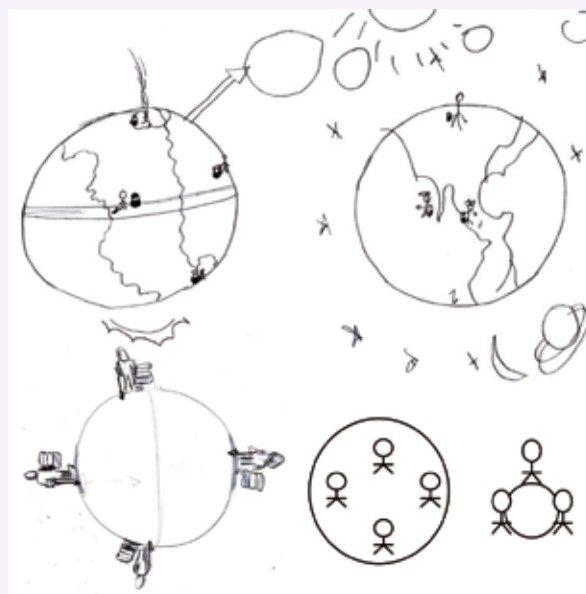
Las actividades que se presentan a continuación constituyen insumos para que el docente piense la secuencia en su propio contexto, a partir de las ideas que consideró claves para construir con los niños.

¿Qué es arriba y qué es abajo?

Se propone a los niños dibujar, por equipos, el planeta Tierra y tres personas ubicadas en distintos lugares de la superficie: una en el Polo Norte, otra en el Polo Sur y finalmente una tercera persona en la línea del ecuador. Posiblemente, las representaciones sean diversas incluso dentro de un mismo equipo. Esto generará la discusión interna, en la que cada niño va a tener que defender su idea frente a las de sus compañeros, ya que se deberá acordar la elaboración de un

dibujo que represente lo que pensó el grupo. Esta instancia vale porque los niños explicitan las concepciones previas en torno al fenómeno.

En las representaciones pueden aparecer personas dibujadas sobre la superficie de la Tierra, orientadas a partir de un sistema de referencia hacia abajo, mientras que otros quizás ya representen de acuerdo a un sistema de referencia hacia el centro de la Tierra. En la puesta en común, el docente tiene la oportunidad de retomar lo discutido en los equipos y promover el debate colectivo. El tipo de preguntas que realice en la intervención es fundamental para avanzar en las ideas conceptuales y metodológicas. Algunas podrían ser: *¿qué tuvieron en cuenta al representar? ¿En qué se diferencian los dibujos? ¿En qué se parecen? ¿Qué sería arriba y abajo en cada dibujo? ¿Qué creen que hace que nos mantengamos sobre la superficie de la Tierra?*



Fuente: Fernández y Peña (2008). Si bien son representaciones de docentes, entendemos que es posible que aparezcan algunas en el aula.

Comparando caídas...

Otro aspecto importante que debería incluirse en una secuencia sobre gravedad es comparar la velocidad de caída de los cuerpos. Debemos interpelar la idea tan arraigada de que los cuerpos pesados llegan más rápido al suelo.

La historia de la ciencia se constituye como un recurso válido para dar cuenta de la construcción del conocimiento como actividad histórica humana. Podemos presentar la historia de Galileo y la Torre de Pisa.

Sistema Solar

En la época de Galileo Galilei se pensaba, siguiendo las ideas de Aristóteles, que objetos de diferente peso, al ser soltados desde una determinada altura, llegaban al suelo con gran diferencia de tiempo. Entonces, un objeto dos veces más pesado llegaba al suelo con una velocidad de caída dos veces mayor. Para poner a prueba su idea, la historia cuenta que Galileo decidió realizar un experimento. Para ello se subió a la parte más alta de la torre de Pisa y ante el público que se había convocado dejó caer dos bolas de piedra de diferente tamaño. Ante la sorpresa de los presentes se pudo observar que las dos bolas caían aparentemente al mismo tiempo.

Preguntas para problematizar: *¿cuál piensan que era la idea que tenía Galileo? ¿Qué aspectos tuvo en cuenta Galileo al realizar la experiencia? ¿Qué piensan ustedes sobre lo que ocurre cuando dejamos caer objetos de diferente peso desde una misma altura? ¿Qué experimento diseñarían para poner a prueba sus ideas?*



Fuente: <https://e1trajede1emperador.wordpress.com/2011/11/25/en-caida-libre/>

En esta actividad es fundamental focalizar la atención en los aspectos metodológicos que están involucrados. El docente debe guiar para que los alumnos den cuenta de la relación que existe entre las preguntas, las hipótesis y las variables a poner en juego (dispositivo experimental).

Probablemente surja el tema de la resistencia del aire en la caída de los cuerpos. Este aspecto puede servir de punto de inicio para discutir que quizás Galileo haya realizado el experimento en forma teórica (mentalmente), imaginando un escenario ideal sin aire (en el vacío).

Una cuestión de masa... y cuerpos celestes

Consideramos que al abordar la gravedad también será fundamental pensar el problema más allá del planeta Tierra. En este sentido es importante tener en cuenta que si la gravedad de un cuerpo depende de la masa, entonces planetas o satélites con distinta masa que la Tierra tendrán una gravedad diferente (más débil o más fuerte). Si hemos trabajado también la idea de que los cuerpos, por el hecho de tener masa, ejercen una atracción sobre los demás cuerpos, es posible plantear otras preguntas sobre el efecto de la gravedad en otros cuerpos celestes: *¿Qué piensan que sucederá con la gravedad en la Luna o en otros planetas? ¿Qué efectos tendría sobre los objetos o cuerpos que podrían habitar en ellos? ¿Qué información deberíamos averiguar para poder determinar si cambia o no cambia la gravedad? ¿Cómo explicarían lo que les sucede a los personajes en cada uno de los cuerpos celestes?*



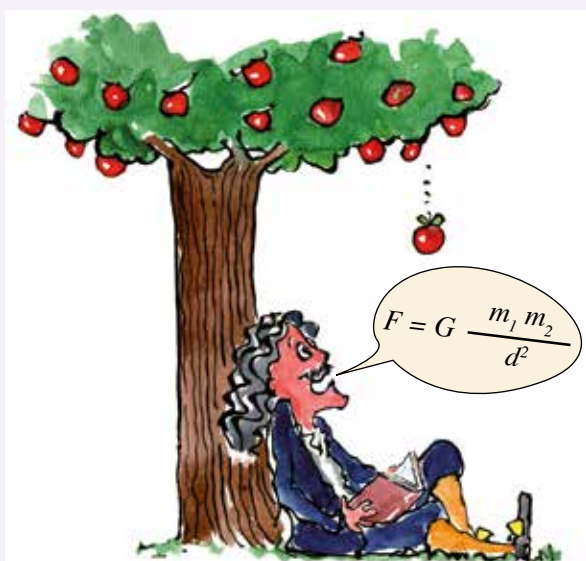
Fuente: Uzan (2010)

La manzana

Creemos oportuno presentar la siguiente lectura de la historia de la manzana de Newton, ya que está contada de una manera particular, prevalece la construcción de ideas y no el descubrimiento espontáneo del hecho. Proponemos problematizar contraponiendo una imagen que da cuenta de lo contrario.

Se cuenta que cierta vez, mientras Newton reposaba a la sombra de un manzano en Woolsthorpe, una manzana lo rozó al caer del árbol. Este hecho más bien banal, habría llevado al joven científico a intuir aquella ley a la que está más ligado su nombre: la ley de la gravitación universal. De todos modos, independientemente de que la historia de la manzana sea verdad o leyenda, lo cierto es que el problema de la gravitación ocupó durante muchos años su meditación. Los fenómenos de la gravedad eran conocidos por todos: por cierto no fue Newton el que descubrió que las manzanas, cuando se separan de los árboles, caen al suelo. También se sabían las características del movimiento de la Luna en su órbita alrededor de la Tierra, sin embargo no se le podía dar una explicación adecuada. La grandeza de Newton reside en haber unificado estos dos fenómenos aparentemente heterogéneos: en haber atribuido a ambos la misma causa, o mejor dicho, haberlos hecho depender de una misma ley. Ahora bien, dirá Newton, la manzana cae a la Tierra exactamente por la misma razón por la cual la Luna orbita alrededor de nuestro planeta: porque el cuerpo más pesado atrae al menor con una fuerza que disminuye con la distancia y por lo tanto aumenta cuando esta disminuye.

Adaptado de Preti (1969)



Adaptado de <https://hikingartist.com/illustrations/philosophy-apple-newton-2/>

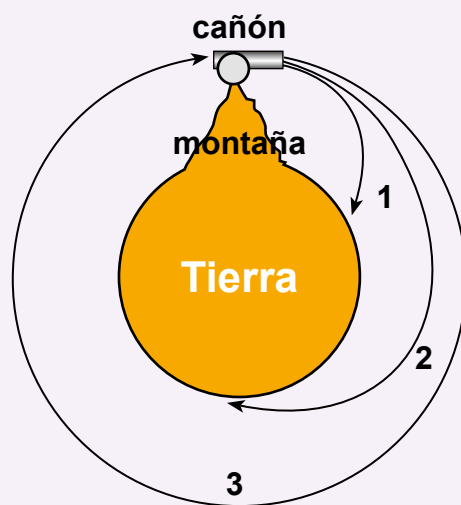
Para pensar: ¿consideran que la imagen busca transmitir las mismas ideas que el texto? ¿Fue a partir de la caída de la manzana que Newton pensó en la ley de gravitación universal? ¿Cómo es posible que la Luna gire en torno a la Tierra por la misma razón que la manzana cae al suelo? ¿Qué creen ustedes?

¿Por qué la Luna no se cae sobre la Tierra?

Seguramente a partir de esta pregunta, los alumnos habrán pensado que una de las razones por las cuales la Luna orbita alrededor de la Tierra se relacione con la fuerza que esta ejerce sobre ella.

Pero... no es tan fácil de explicar por qué no cae sobre la superficie de la Tierra como los demás objetos. Para ello es interesante que en la clase se presenten diferentes formas de comprender el fenómeno.

- En esta actividad se propone a los niños leer e interpretar un modelo explicativo a partir de las siguientes preguntas: ¿cuál de los elementos que aparecen en el dibujo representaría a la Luna? ¿De qué creen que dependen las tres posibles trayectorias que se trazan en la representación? ¿Cuál de las tres trayectorias coincidiría con la de la Luna? ¿Existe una relación entre la curvatura de la Tierra y esta trayectoria? ¿Cuál? ¿Qué piensan que sucedería si la Luna (bala del cañón) fuera lanzada con más velocidad?



Adaptado de <http://www.infobservador.com/2010/10/por-que-la-luna-no-se-cae/>

- Esta actividad supone la lectura de un diálogo entre Alicia, Clara y su hermano, donde Clara intenta argumentar sobre la posible razón de por qué la Luna no se cae sobre la Tierra.

«—Si tomo un hilo y le ato una piedra al extremo, el hilo tiende a ir hacia abajo. Ahora supongamos que subimos a una calesita del parque y que la hacemos girar cada vez más rápido. ¿Qué hará el hilo?

—Se inclinará un poco hacia el exterior — contesta Alicia.

—Sí. Y cuanto más rápido gire la calesita, más se inclinará el hilo hacia el exterior. Sin embargo la gravedad es la misma sobre la calesita y justo al lado. Por lo tanto, hay algo, otra fuerza, que tira del hilo hacia el exterior, y además con más fuerza cuanto más de prisa gira. Es lo que llamamos la fuerza centrífuga — explica Clara.

—Y ¿qué tiene que ver con la Luna? — pregunta su hermano.

—La Luna gira alrededor de la Tierra. La fuerza centrífuga tira de ella hacia el espacio tanto como la Tierra la atrae hacia ella. La fuerza centrífuga y la gravedad se compensan tan bien que la Luna no cae nunca.»

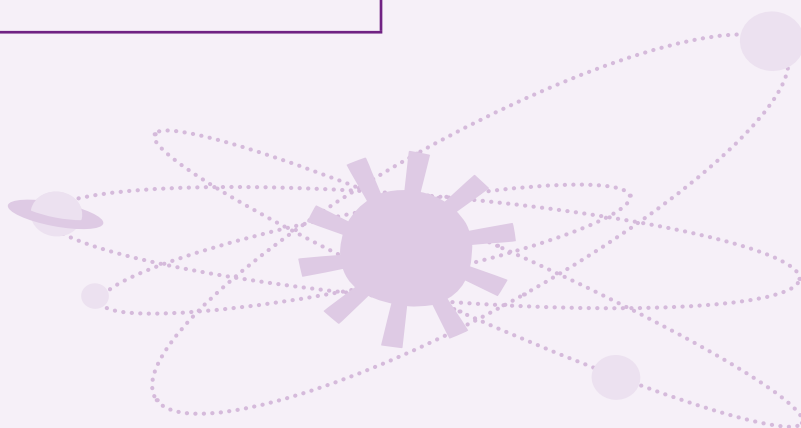
(Uzan, 2010)

A partir del texto y reunidos en equipos imaginen el o los dibujos que habrá hecho Clara, mientras explicaba su idea a los otros dos niños, teniendo en cuenta las fuerzas que incluye en su explicación.

Para seguir pensando...

Newton se dio cuenta también de que la razón por la cual los planetas están en órbita alrededor del Sol está relacionada con la razón por la que los objetos caen hacia la Tierra cuando los soltamos.

¿Se animan a elaborar un modelo que explique por qué los planetas orbitan alrededor del Sol? 



Referencias bibliográficas

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES (2015): "Las cosas no caen por su propio peso. Apuntes para pensar la enseñanza de la fuerza de gravedad" en *QUEHACER EDUCATIVO*, N° 131 (Junio), pp. 33-45. Montevideo: FUM-TEP.

FERNÁNDEZ NISTAL, María Teresa; PEÑA BOONE, Sergio Humberto (2008): "Concepciones de maestros de primaria sobre el planeta Tierra y gravedad. Implicaciones en la enseñanza de la ciencia" en *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, Vol. 10, N° 2. En línea: <http://redie.uabc.mx/vol10no2/contenido-fernandeznystal.html>

FRACARO, Anahí Catalina; PERALES, Francisco Javier (2014): "Concepciones previas respecto de los conceptos de Interacciones y de Campo en Física" en *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*. Buenos Aires (12-14 noviembre). En línea: www.oei.es/historico/congreso2014/memoriactei/197.pdf

HEWITT, Paul G. (2004): *Física conceptual*. México: Ed. Pearson/Addison-Wesley. Novena edición.

MANJARREZ, José Alfonso; ALEJO, Cástulo Anselmo; SLISKO, Josip (2011): "Ideas previas de estudiantes de bachillerato sobre el movimiento del planeta Tierra y su relación con la visión teleológica" en *Latin-American Journal of Physics Education*, Vol. 5, N° 1. En línea: https://www.academia.edu/2984512/Ideas_previas_de_estudiantes_de_bachillerato_sobre_el_movimiento_del_planeta_Tierra_y_su_relaci%C3%B3n_con_la_visi%C3%B3n_teleol%C3%B3gica?auto=download

MORA, César; HERRERA, Diana (2009): "Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza" en *Latin-American Journal of Physics Education*, Vol. 3, N° 1. En línea: http://www.lajpe.org/jan09/13_Cesar_Mora.pdf

OSBORNE, Roger; FREYBERG, Peter (1998): *El Aprendizaje de las Ciencias. Influencia de las "ideas previas" de los alumnos*. Madrid: Narcea Ediciones.

PRETI, Giulio (1969): "Newton" en *Los hombres de la historia. La Historia Universal a través de sus protagonistas*, N° 62. Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.

RODRÍGUEZ JAQUE, Gabriel (1988): "Newton, a más de 300 años de sus Principia" en *Revista Creces*. En línea: <http://www.creces.cl/new/index.asp?tc=1&nc=5&tit=&art=265&pr=>

SANZ, Elena (2010): "La auténtica historia de Newton y la manzana" en *Muy historia*. En línea: <http://www.muyhistoria.es/h-moderna/articulo/la-autentica-historia-de-newton-y-la-manzana>

UZAN, Jean-Philippe (2010): *La gravedad. Descubre qué es, cómo funciona y por qué existe*. Barcelona: Ed. Oniro.