APRENDER ASTRONOMÍA JUGANDO EN UNA PLAZA

Néstor Camino [1]

Resumen: Se presentan en este trabajo algunos juegos de plaza, considerados como módulos didácticos para imaginar procesos astronómicos, a partir de la concepción de que el aprendizaje en Astronomía debe desarrollarse fortaleciendo la relación del propio cuerpo con el espacio tridimensional y con el tiempo, tal como se vive al observar el cielo, construyendo un "diálogo" entre el mundo real y los aprendizajes a construir. Los juegos presentados (calesitas y toboganes) fueron diseñados para trabajar sobre la traslación de la Tierra en torno al Sol, las fases de la Luna y la gravedad, y sobre lo que un observador percibe de los mismos. Se da la descripción de cada juego, se discuten sus fundamentos físicos y astronómicos, y se desarrolla una crítica didáctica de los mismos. Finalmente, se comenta el rol que deberían tener los docentes en el acompañamiento a los aprendices en el proceso de interacción con los juegos presentados.

Palabras clave: Astronomía, Didáctica, Vivencial, Aprender, Jugar, Espacio público

APRENDER ASTRONOMIA BRINCANDO EM UMA PRAÇA

Resumo: Apresentam-se neste trabalho alguns jogos de praça, considerados como módulos didáticos para imaginar processos astronômicos, a partir da concepção de que a aprendizagem em Astronomia deve-se desenvolver fortalecendo a relação do próprio corpo com o espaço tridimensional e com o tempo, tal como se vive ao observar o céu, construindo um "diálogo" entre o mundo real e as aprendizagens a construir. Os jogos apresentados (carrosséis e tobogãs) foram desenhados para trabalhar sobre a translação da Terra em torno do Sol, as fases da Lua e a gravidade, e sobre o que um observador percebe dos mesmos. Dá-se a descrição de cada jogo, discutem-se seus fundamentos físicos e astronômicos, e desenvolve-se uma crítica didática dos mesmos. Finalmente, comenta-se o papel que deveriam ter os docentes no apoio aos aprendizes no processo de interação com os jogos apresentados.

Palavras-chave: Astronomia, Didática, Vivencial, Aprender, Jogar, Espaço público.

LEARNING ASTRONOMY BY PLAYING IN A PARK

Abstract: Some public-square games are presented in this paper, considered as didactic modules to help children imagine astronomical processes, based on the concept that learning in Astronomy should be developed to strengthen the relationship of our body with three-dimensional space and time, much in the same way we experience when observing the actual sky, holding a permanent "dialogue" between the actual world and what is to be learned. The games presented (merry-go-rounds and slides) were designed to work on the astronomical concepts related to the translation of the Earth around the Sun, the phases of the Moon and gravity, and on what is perceived by an observer about those phenomena. The description of each game, their physical and astronomical foundations, and a critical comment about their didactical importance are the key parts of the paper. Finally, a recommendation is given about the role teachers should play to be essential partners in the process of learning Astronomy by means of the interaction with these games.

Keywords: Astronomy, Didactics, Experiential, Learning, Playing, Public square.

[1] Complejo Plaza del Cielo – CONICET – Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales UNPSJB.
e-mail: nestor.camino@speedy.com.ar

1. Introducción

El desarrollo de estrategias didácticas adecuadas para el tratamiento de los diversos temas que hacen a la enseñanza de la Astronomía, en los distintos contextos de aplicación y con los diferentes grupos de aprendices con quienes compartimos nuestra tarea, es uno de los desafíos más importantes que tenemos los educadores e investigadores en Didáctica de la Astronomía.

Un aspecto muy importante de esta acción didáctica consiste en brindar a los aprendices situaciones concretas, vivenciales, para que el proceso de construcción conceptual que desarrollarán no sólo consista en una actividad mental sino también en algo corporal, que involucre movimiento, tridimensionalidad espacial y transcurrir temporal, y en entornos diferentes al tradicional del aula.

Los tres juegos que presentamos en este trabajo fueron diseñados para ser instalados en el "Complejo Plaza del Cielo: un lugar para aprender y jugar con la Astronomía", y están dirigidos a fortalecer el trabajo didáctico (áulico, observacional, etc.) en tres importantes fenómenos, y sus muchas consecuencias para un observador ubicado en alguna posición determinada: el movimiento de la Tierra en torno al Sol, el movimiento de la Luna en torno a la Tierra, y la gravedad local.

Es importante resaltar que estos juegos (módulos didácticos) contienen en su diseño ciertos aspectos esenciales para una plaza, pública y a la intemperie, a saber: los materiales necesarios para su construcción son metales, madera y cemento, por lo que en general son de bajo costo; no contienen partes eléctricas, ni peligrosas (más allá de lo peligroso que pueda ser un típico juego de plaza), ni engranajes o piezas complejas, excepto ambas calesitas, que por su movimiento de rotación requieren de rodamientos y precisión en su instalación; en todos los casos, los módulos son también de bajo costo en lo que respecta a su mantenimiento continuo y arreglos por roturas.

2. Juegos como modelos didácticos para imaginar procesos astronómicos

Para aprender, la capacidad de imaginar es esencial; esto es válido para cualquier aprendizaje, y es particularmente medular en el campo de la Astronomía. Así, la Didáctica de la Astronomía debe proveer situaciones, modelos, analogías, etc., que ayuden a que el aprendizaje se dé "sintiendo", "viendo y tocando", y no sólo "pensando", buscando generar un "diálogo" entre la realidad y el proceso de imaginación y abstracción necesario para el aprendizaje de los conceptos propios de los fenómenos astronómicos bajo estudio (Camino, 2004).

De acuerdo con Krapas et alii (1997), consideramos a cada juego que presentamos como un "modelo pedagógico", es decir, aquel "…modelo construido con el propósito de promover la educación. En un sentido amplio, un modelo pedagógico incluye los procesos de mediación didáctica, esto es, los procesos de transformación del conocimiento científico en conocimiento escolar. … En un sentido estricto, modelo pedagógico se refiere a la representación simplificada de una idea, objeto, evento, proceso o sistema que se constituya en objeto de estudio, con el objetivo de facilitar la comprensión significativa, por parte de los alumnos, de estos mismos objetos".

La razón de ser del modelo, para nosotros, no es el remplazo de una parte de la realidad sino una herramienta para facilitar el diálogo con esa realidad, que por ser ésta compleja presenta obstáculos (Giordan, 1988) que hay que diagnosticar y tener en cuenta al diseñar una estrategia didáctica específica. En el caso particular de la Enseñanza de la Astronomía, uno de los obstáculos más importantes es el de imaginar, desde un entorno vivencial cotidiano de micro/meso/macro espacio, fenómenos astronómicos cuya explicación científica tiene como escenario el mega espacio propio del universo a gran escala (LANCIANO et al., 2008).

Uno de los factores importantes del trabajo con modelos didácticos es su utilización desde las edades más bajas, donde la imaginación está aún en formación y el diálogo con la realidad es todavía incipiente. Por esto, generar juegos como dispositivos didácticos tiene un valor muy alto para el aprendizaje de conceptos astronómicos. Sin embargo, es fundamental resaltar que utilizar modelos para el aprendizaje de conceptos astronómicos, si bien reviste gran importancia, no es un fin en sí mismo, sino que debe ser una apoyatura para las actividades de observación directa: la calesita del movimiento anual no remplaza de ningún modo a la observación sistemática de cómo va variando la posición de Tauro o Escorpio con respecto al horizonte local a través del año.

Los modelos concretos deben ser instrumentos que acompañen a los estudiantes en el proceso de resignificación de sus vivencias astronómicas cotidianas (las fases de la Luna, por ejemplo); sin embargo tales vivencias generalmente están acompañadas de las denominadas “ideas previas”, de amplia discusión en la bibliografía, en particular de aquellas que no coinciden con el conocimiento científico aceptado. Es muy posible que con cada uno de los conceptos involucrados en el manejo de un modelo haya asociadas ideas previas, las que deberán ser tenidas en cuenta entonces al diseñar el mismo, ya que de lo contrario se correría el riesgo de fortalecer tales ideas en lugar de brindar la posibilidad de resignificar lo observado para comenzar a construir una explicación adecuada a lo científicamente aceptado.

Por último, cabe destacar que por ser el diseño de un modelo concreto una construcción conceptual y material de intención didáctica, sobre un cierto fenómeno específico, siendo un instrumento para establecer un diálogo con la realidad observable cotidianamente, el mismo está limitado conceptual y didácticamente al estrecho campo fenomenológico para el cual fue diseñado. Por esta razón, es inherente al diseño y a la posterior utilización de un modelo concreto su crítica, la discusión de cuál es su rango de validez, dónde deja de funcionar para aquello que se supone que fue diseñado y cuáles son los límites de aplicación didáctica, límites que de ser transpuestos harían que la manipulación del modelo obstaculizara en vez de facilitar el aprendizaje.

3. Calesita del movimiento anual

Este módulo didáctico consiste en una típica calesita con asientos en su borde y un volante al centro, sobre el que se acciona para producir el movimiento de la misma.

Cada asiento de la calesita representa una posición de la Tierra en su órbita en torno al Sol (representado por el volante); en el piso, por fuera de la calesita y en una circunferencia concéntrica con la misma, se indican las constelaciones zodiacales (dibujos clásicos como los de Hevelius, el símbolo astronómico de las constelaciones, u otra variante).

El principal objetivo didáctico de este juego astronómico es el de mostrar los efectos del movimiento de traslación terrestre sobre la apariencia del cielo nocturno durante las distintas épocas del año, relacionándolo con el fenómeno de las estaciones y del día y la noche.

Un chico sentado en uno de los asientos, representa una posición de la Tierra en su órbita en un instante determinado. Su cara está dirigida hacia el volante que representa al Sol, y corresponde a la mitad diurna de nuestro planeta; viceversa, su espalda está dirigida hacia el exterior de la calesita, y corresponde a la mitad nocturna del mismo.

Por consiguiente, de día puede verse al Sol y también a las estrellas que están en la misma región del cielo que el Sol (sobre el suelo, más allá del volante), y de noche sólo puede verse la región del cielo opuesta al Sol (sobre el suelo, hacia la espalda del chico). (Figura 1)

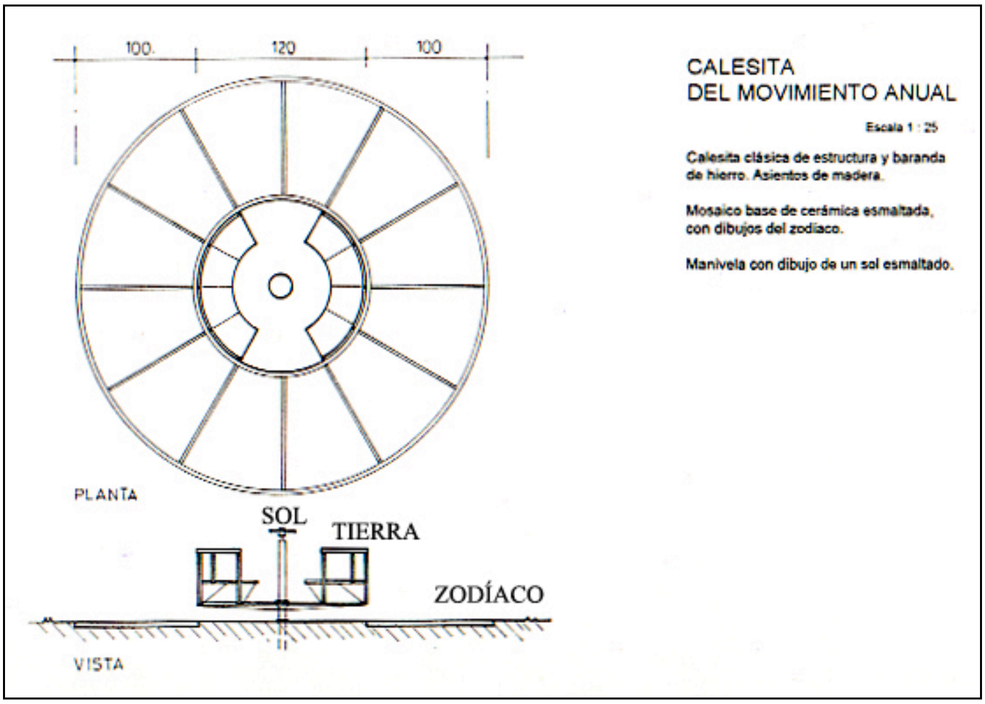

Figura 1: Plano de la Calesita del movimiento anual.

Al rotar la calesita, el chico (la Tierra) va ocupando distintas posiciones en su órbita. Si bien de día (por definición) se ve al Sol y de noche no, las estrellas que en cada caso pueden verse van variando, “día tras día”. Esto posibilita comprender la razón de que una constelación zodiacal pueda verse alta en el cielo de las noches de invierno, mientras que su opuesta pueda verse alta en el cielo de las noches de verano, como ocurre por ejemplo con Escorpio y Tauro-Orión.

Este modelo brinda elementos, además, para discutir cuál es la razón de que no podamos ver estrellas de día, si las mismas “están ahí” en el cielo, junto al Sol.

Hilando aún más fino, si se incorpora una referencia externa y lejana a este módulo, la que representaría al punto Aries, podría desarrollarse la noción de tiempo sidéreo y su relación con el tiempo solar.

Es claro que este dispositivo no permite representar la relación entre el período de rotación de la Tierra (el día) y el período de traslación de la misma (el año). Es más, dado que los chicos en cada uno de los asientos no pueden rotar sobre sí mismos independientemente de su rotación como un todo a bordo de la calesita, este módulo no explica ni representa la secuencia día-noche, más allá de la identificación de la mitad que da al Sol y la opuesta a éste. Obviamente, este modelo tampoco representa el tipo de vínculo entre la Tierra y el Sol (gravitatorio) dado que la calesita funciona por acción de los momentos aplicados por los chicos sobre el volante y la correspondiente reacción del conjunto. (Figura 2)

Figura 2: Calesita del movimiento anual, ubicada en el Museo de la Ciencia y el Agua, Murcia, España. En el suelo se ven los símbolos de las constelaciones zodiacales; el volante central tiene la imagen del Sol.

4. Calesita de la Luna y la Tierra

Este módulo es básicamente una calesita doble, una de ellas (la Luna) "esclava" de la otra (la Tierra). Consiste en una calesita de volante (la Tierra) compuesta con otra pequeña calesita de sólo cuatro asientos (la Luna) y sin volante propio, la que gira sobre ruedas o bien sobre un riel concéntrico con el eje de la anterior, vinculada con la misma por medio de una barra rígida, de modo tal de asegurar que la posición relativa de los cuatro asientos "lunares" con respecto a los asientos "terrestres" no puede ser modificada. El conjunto se mueve exclusivamente al accionar sobre el volante central de la calesita mayor. (Figura 3)

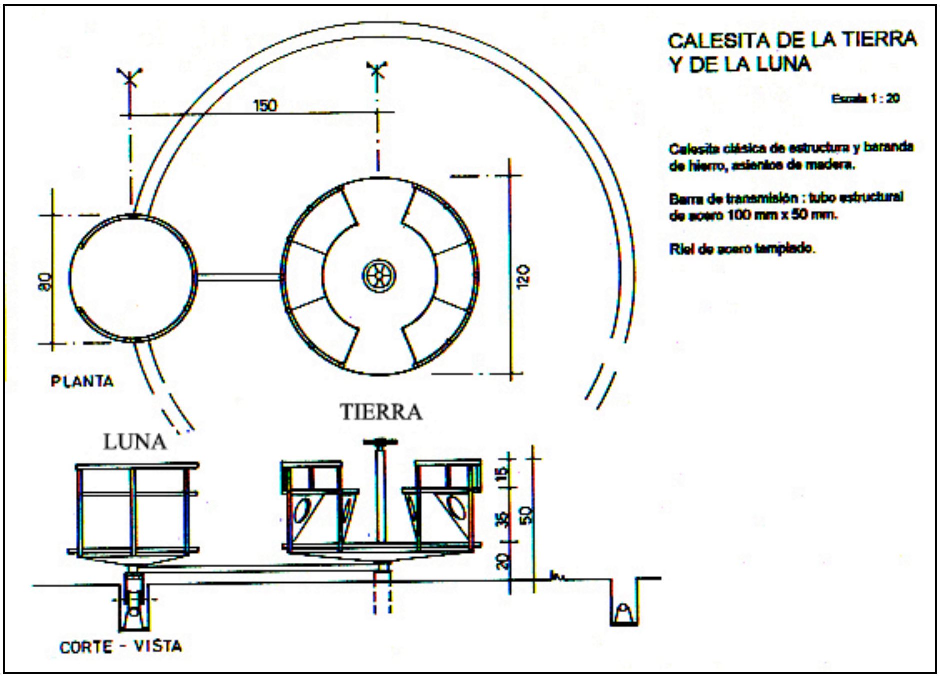

Figura 3: Plano de la calesita de la Tierra y la Luna.

Varios son los principales objetivos educativos de este módulo: uno de ellos es el de mostrar que es posible que la Luna, aun girando sobre su propio eje y a la vez trasladándose en torno a la Tierra, enfrente siempre la misma cara a ésta.

"La Luna nos muestra siempre la misma cara porque no gira sobre sí misma" es una de las ideas previas más comunes asociadas al Sistema Tierra-Luna. Este módulo didáctico posibilita vivenciar el movimiento conjunto de rotación y traslación lunares, de forma similar a como sucede en la realidad, por lo que es una herramienta muy adecuada para trabajar sobre esa concepción.

La demostración más sencilla (y contundente) de la rotación sobre sí misma de la Luna, consiste en que uno de los chicos sentados en la calesita lunar observe que mientras "la Luna" se mueve en torno a "la Tierra", él puede observar sin variación a uno de los asientos de la calesita central, aunque el paisaje externo va cambiando permanentemente, indicador de que está girando sobre sí mismo (viceversa, y ya fuera de la calesita, debería dramatizarse cómo sería su movimiento y lo que vería del paisaje externo si se trasladara en torno a la Tierra sin girar sobre sí mismo).

Definiendo un punto externo al conjunto, lejano y fijo sobre el suelo, representando al Sol (una esfera amarilla, por ejemplo) sería posible comenzar a trabajar sobre las fases lunares vistas desde la Tierra, y las fases de la Tierra vistas desde la Luna. De instalarse otra calesita doble, formando un ángulo de 90° con centro en el objeto que representa al Sol, podría también comenzarse a trabajar sobre los eclipses y sobre los períodos de rotación sinódico y sidéreo lunares.

Este modelo no permite explicar la variación de la posición de la Luna día tras día en el cielo local, como tampoco representa la relación del día terrestre con los períodos de rotación y traslación lunares. Vale además idéntico comentario que en la Calesita del movimiento anual sobre el vínculo gravitatorio real versus el accionar mecánico de estas calesitas.

5. Sobre nuestra vida en un campo gravitatorio

> "*El peso es la fuerza por la cual cada miembro individual del conjunto tiende hacia el centro. Para el sistema terrestre hay una gravedad terrestre, tanto como para el sistema lunar hay una gravedad lunar y para el sistema de Júpiter una gravedad joviana*".
>
> (Giles de Roberval, 1602-1675)

El concepto de gravedad ha sido, y seguramente sigue siendo, uno de los más cotidianos (en el sentido de su influencia) y a la vez más inasibles (en el sentido de su comprensión) en la historia del pensamiento científico de la Humanidad. Quizás por esto mismo, distintos pensadores a través del tiempo han intentado responder a las preguntas sobre lo "evidente" de la gravedad como ineludible compañera de todo lo que sucede en la Tierra y el Universo.

Recordemos las palabras de Alexander KOYRÉ (1980) cuando expresa que "no existe el dios de la gravedad". Esta expresión tan sencilla guarda una sabiduría especial con importantes implicaciones didácticas: los pueblos antiguos endiosaban aquello del mundo natural que se manifestaba de alguna manera y era cambiante en el tiempo (las tormentas, los eclipses, los terremotos, las inundaciones, etc.). La gravedad nunca se manifiesta en sí misma, de ninguna manera; así, perdió su oportunidad de tener un dios propio. Sin embargo, absolutamente todo en el mundo natural está afectado por la gravedad (las nubes, la Luna y el Sol, las montañas, el agua). (CAMINO, 2005).

Pero también perdió su oportunidad de convertirse en motivo de experimentación didáctica y mucho más de ser un divertido juego. GALILI (1993), citando a Einstein, expresa que "no sentimos la gravedad". Tanto como la gravedad no se manifiesta en sí misma sino por los efectos que produce en otros objetos, ni es posible sentirla, tampoco es posible "manejar" la gravedad de alguna manera. Es decir, no podemos aumentar o disminuir la gravedad para jugar con el efecto resultante tal como lo hacemos cuando aumentamos o disminuimos la intensidad de luz en un cierto lugar; no tenemos "párpados gravitatorios" para jugar a no sentir la gravedad como sí tenemos párpados para no detectar la luz; no podemos construir dispositivos para "desviar" la dirección gravitatoria como sí podemos construir espejos para desviar la luz; y habrían muchos más ejemplos. A los educadores, preocupados por generar didácticas específicas para la enseñanza del concepto de gravedad, sólo nos queda entonces hacer de "ilusionistas".

Así que, dado que no podemos sentir la gravedad ni "manejarla", podemos al menos comenzar a trabajar sobre los efectos que la misma genera sobre nosotros y nuestro entorno: fundamentalmente asociados al movimiento de caída (vertical o sobre alguna rampa, en ambos casos con algún tipo de roce), y proyectar así una acción de aprendizaje significativo vivencial sobre el concepto de gravedad. (Figura 4)

Es muy importante comenzar a trabajar sobre la gravedad generando estrategias didácticas que incorporen el movimiento como vehículo para la comprensión de este concepto tan fundamental en la visión de universo que actualmente manejamos.

Es decir, asociar el movimiento a la construcción del concepto de gravedad nos acercaría un poco a una visión más moderna, no estática y reduccionista (en general, la gravedad como fuerza participa en el equilibrio de fuerzas estáticas o como valor fijo local para tiros oblicuos y demás), dejando el camino abierto para, algún día, comenzar a trabajar sobre una concepción relativista de la gravitación.

Figura 4: Francisco juega con la gravedad terrestre en un tobogán de Esquel.

Existen muchos juegos “gravitatorios”, por todos utilizados desde siempre y muy divertidos: son aquellos “de caerse” o “de impedir caerse”, como hamacas, sube y bajas, toboganes, etc. Todos estos juegos dependen de la gravedad para su funcionamiento (a diferencia de las calesitas), y, por ejemplo, funcionarían de manera muy distinta en otro planeta.

Por supuesto entonces que es posible aprender (y enseñar) sobre la gravedad, en particular mediante la utilización de este tipo de juegos, resignificándolos con intencionalidad didáctica, para identificar qué aspectos de la gravedad podrían ser resaltados (medir su valor local en las hamacas; su relativa constancia sobre una pequeña superficie sobre la Tierra en los sube y bajas; su efecto de acelerar los cuerpos en los toboganes, etc.).

6. Toboganes de la Tierra, Marte y la Luna

El tiempo que tarda un cuerpo en caer, partiendo de una altura inicial fija sin velocidad inicial ni rozamiento, varía con la gravedad del lugar; teniendo esto en cuenta, se cae más rápido en la Tierra que en Marte y en Marte que en la Luna.

Así, es posible diseñar toboganes de modo tal que, teniendo la misma altura (desde donde se lanzarán los chicos), sus rampas de deslizamiento estén inclinadas de modo tal que los tiempos de caída (al moverse sobre las rampas) guarden la misma relación que los tiempos durante caídas libres verticales en la Tierra, en Marte y en la Luna.

Los chicos sentirían entonces que caen por los toboganes en tiempos distintos, de acuerdo con estas relaciones, imaginando que juegan cayendo en otros entornos astronómicos, afectados por distintos campos gravitatorios.

7. Comparación entre los tiempos de caída libre en la Tierra, en Marte y en la Luna

Los valores de la gravedad local en los tres cuerpos que estamos analizando se dan en la Tabla 1 y se representan gráficamente en la Figura 5:

Valores medios de la gravedad local		
Tierra	**Marte**	**Luna**
9.81 m/s^2	**3.73 m/s^2**	**1.63 m/s^2**

Tabla 1: Valores de la gravedad local en la Tierra, Marte y la Luna.

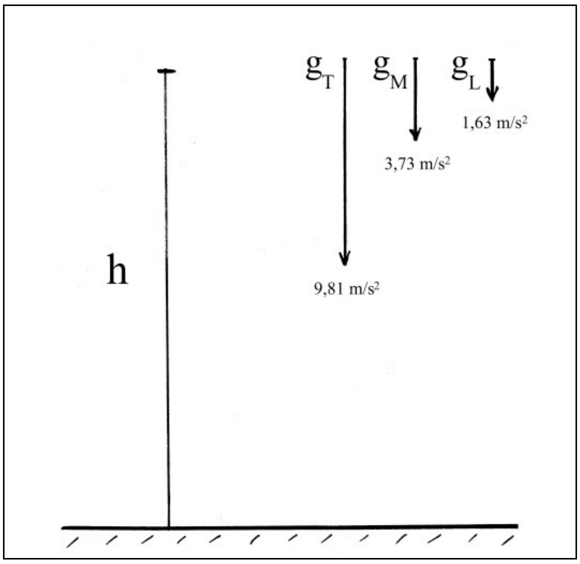

Figura 5: Representación gráfica de la gravedad local en la Tierra, Marte y la Luna.

Si consideramos una caída libre (sin rozamiento) partiendo del reposo (con velocidad inicial nula), desde una altura fija, las ecuaciones de movimiento y los tiempos teóricos para los tres casos se dan en la Tabla 2:

Ecuaciones de movimiento y tiempos para caídas libres con velocidad inicial nula		
Tierra	**Marte**	**Luna**
$h = \frac{1}{2} \cdot a_{TIERRA} \cdot t_{TIERRA}^2$	$h = \frac{1}{2} \cdot a_{MARTE} \cdot t_{MARTE}^2$	$h = \frac{1}{2} \cdot a_{LUNA} \cdot t_{LUNA}^2$
$t_{TIERRA} = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{a_{TIERRA}}}$	$t_{MARTE} = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{a_{MARTE}}}$	$t_{LUNA} = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{a_{LUNA}}}$

Tabla 2: Ecuaciones de movimiento y tiempos de caída libre.

Comparando los respectivos tiempos de caída en Marte y la Luna con respecto al tiempo de caída en la Tierra, independientemente de la altura desde la cual se inicia el movimiento, llegamos a las relaciones que se presentan en la Tabla 3:

Comparación entre los tiempos de caída	
Marte - Tierra	**Luna - Tierra**
$\frac{t_{MARTE}}{t_{TIERRA}} = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot h}{a_{MARTE}}}}{\sqrt{\frac{2 \cdot h}{a_{TIERRA}}}} = \sqrt{\frac{a_{TIERRA}}{a_{MARTE}}} = \sqrt{\frac{9.81}{3.73}}$	$\frac{t_{LUNA}}{t_{TIERRA}} = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot h}{a_{LUNA}}}}{\sqrt{\frac{2 \cdot h}{a_{TIERRA}}}} = \sqrt{\frac{a_{TIERRA}}{a_{LUNA}}} = \sqrt{\frac{9.81}{1.63}}$
$\frac{t_{MARTE}}{t_{TIERRA}} = 1.62$	$\frac{t_{LUNA}}{t_{TIERRA}} = 2.45$

Tabla 3: Valores estimados de los tiempos de caída libre.

8. Análisis del movimiento de un chico sobre la rampa del tobogán

El movimiento que un chico experimenta cuando cae por la rampa de un tobogán puede considerarse como rectilíneo, con aceleración constante, y con cierto rozamiento debido a la interacción con la misma.

A los fines de los objetivos didácticos de estos juegos, es posible considerar que la aceleración efectiva sobre la rampa es una componente de la aceleración de la gravedad terrestre (como se muestra en la Figura 6).

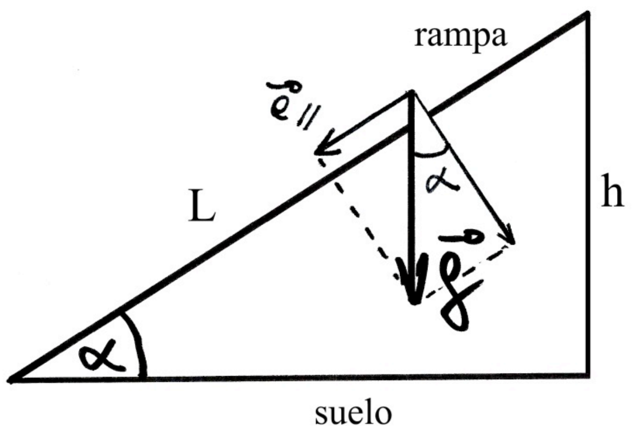

Figura 6: Esquema que muestra la descomposición de la aceleración de la gravedad en las componentes paralela ($\vec{a}_{//}$) y perpendicular a la rampa del tobogán.

Así, el valor de esta componente estará relacionado con el ángulo de inclinación de la rampa del tobogán con respecto al suelo:

$$a_{//} = g \cdot sen\,\alpha$$

9. Estimación del intervalo de tiempo de caída sobre la rampa de un tobogán terrestre

Hemos elegido para estos cálculos observar un tobogán ubicado en la Plaza San Martín, en el centro de la ciudad de Esquel, mientras varios chicos jugaban por la tarde después de la escuela.

Si consideramos que el chico comenzará a moverse por el tobogán partiendo del reposo (con velocidad inicial nula), la ecuación de movimiento sobre la rampa (de longitud L e inclinación α con respecto al suelo) es:

$$L = \frac{1}{2} \cdot a_{//} \cdot t^2 \qquad \cdots \qquad t = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{a_{//}}}$$

$$con\ \ L = 4.8\ m;\ \ g = 9.8\ \frac{m}{s^2};\ \ \alpha = 27° \quad \rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot 4.8\ m}{9.8\frac{m}{s^2} \cdot sen\,27°}}$$

$$\boxed{t \approx 1.5\ s \quad \text{(tiempo teórico sin rozamiento)}}$$

El intervalo de tiempo medido, promediado luego de que varios chicos jugaran en el tobogán durante un largo rato, fue de dos segundos (2 s). Este tiempo es mayor que el teórico antes calculado, lo que era de esperarse, debido a que la rampa del tobogán real, a pesar de estar hecha de metal pulido, tiene rozamiento y por consiguiente será menor la aceleración real para el movimiento sobre la misma. (Figura 7)

10. Criterios para el diseño de los toboganes de Marte y de la Luna

Para el diseño de los toboganes como dispositivos didácticos para el tratamiento de la gravedad y sus efectos, consideraremos que el movimiento rectilíneo sobre la rampa, acelerado por la componente de la gravedad local paralela a la misma ($a_{//}$), partiendo de una cierta altura fija sin velocidad inicial (y en principio sin roce), será equivalente al movimiento de caída libre en los correspondientes entornos gravitatorios de la Tierra, Marte y la Luna.

A partir de esta "decisión didáctica", y tomando como patrón de referencia al tobogán de la plaza de Esquel, estudiaremos qué longitudes de rampas y ángulos de inclinación deberían tener los otros dos toboganes (el marciano y el lunar), para lograr que los tiempos de caída en cada uno de ellos guarde la relación antes calculada (y general) con respecto al tiempo de caída en la Tierra.

Recordemos que el tiempo teórico de deslizamiento en el tobogán real de la plaza San Martín, y la relación deducida entre los respectivos tiempos de caída libre de Marte y la Luna con respecto al tiempo de caída libre en la Tierra, se presentan en la Tabla 4:

$t_{TIERRA} \approx 1.5\ s$	$\dfrac{t_{MARTE}}{t_{TIERRA}} = 1.62$	$\dfrac{t_{LUNA}}{t_{TIERRA}} = 2.45$

Tabla 4: Comparación entre los tiempos de caída libre.

Por consiguiente, deberemos lograr que los toboganes de Marte y de la Luna tengan un tamaño tal que los movimientos de caída por las respectivas rampas de deslizamiento se den en los tiempos que se presentan en la Tabla 5:

Tiempos de caída por las rampas (teóricos, sin considerar rozamiento)	
$t_{MARTE} \approx 2.4\ s$	$t_{LUNA} \approx 3.7\ s$

Tabla 5: Tiempos teóricos de caída por las rampas de los toboganes.

Figura 7: Tobogán en una de las plazas de Esquel (se indican sus dimensiones y el tiempo de caída).

Ya en la parte final de este proceso de diseño, deberemos elegir los respectivos largos de las rampas y los ángulos de inclinación, a partir de los tiempos recién hallados (nuestra condición de partida para el diseño de estos módulos didácticos), y así poder construir los toboganes de Marte y la Luna, a partir de un tobogán ya existente en una plaza de la Tierra.

Las ecuaciones de movimiento y los correspondientes tiempos sobre las rampas se indican en la Tabla 6:

Ecuaciones de movimiento y tiempos para las caídas sobre las rampas de los toboganes		
Tierra	**Marte**	**Luna**
$L_{TIERRA} = \frac{1}{2} \cdot a_{// TIERRA} \cdot t_{TIERRA}^2$	$L_{MARTE} = \frac{1}{2} \cdot a_{// MARTE} \cdot t_{MARTE}^2$	$L_{LUNA} = \frac{1}{2} \cdot a_{// LUNA} \cdot t_{LUNA}^2$
$t_{TIERRA} = \sqrt{\frac{2 \cdot L_{TIERRA}}{a_{// TIERRA}}}$	$t_{MARTE} = \sqrt{\frac{2 \cdot L_{MARTE}}{a_{// MARTE}}}$	$t_{LUNA} = \sqrt{\frac{2 \cdot L_{LUNA}}{a_{// LUNA}}}$

Tabla 6: Síntesis de las ecuaciones de movimiento y tiempos de caída por las rampas.

Podemos considerar a cada tobogán como un triángulo rectángulo, con el tamaño del cateto menor común a los tres toboganes (h=2.10 m), debido a que hemos tomado como referencia al tobogán de la plaza de Esquel (obviamente, con otros tamaños estos cálculos variarían).

En esos triángulos rectángulos se cumplen las siguientes relaciones (Tabla 7):

Relaciones en los triángulos rectángulos que forman los tres toboganes (con h=2.10 m, común)		
Tierra	**Marte**	**Luna**
$a_{// TIERRA} = g \cdot sen\, 27°$	$a_{// MARTE} = g \cdot sen\, \alpha_{MARTE}$	$a_{// LUNA} = g \cdot sen\, \alpha_{LUNA}$
$L_{TIERRA} = 4.80\, m$	$L_{MARTE} = \dfrac{2.10\, m}{sen\, \alpha_{MARTE}}$	$L_{LUNA} = \dfrac{2.10\, m}{sen\, \alpha_{LUNA}}$

Tabla 7: Relaciones geométricas entre los triángulos que forman los toboganes.

Reemplazando estas relaciones en las correspondientes expresiones para los tiempos, podremos hallar los valores de los ángulos de inclinación de las rampas con respecto al suelo (Tabla 8):

Cálculo de los ángulos de inclinación de las rampas de los toboganes de Marte y de la Luna	
Marte	**Luna**
$t_{MARTE} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot L_{MARTE}}{a_{// MARTE}}}$	$t_{LUNA} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot L_{LUNA}}{a_{// LUNA}}}$
$t_{MARTE} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot \dfrac{h}{sen\, \alpha_{MARTE}}}{g \cdot sen\, \alpha_{MARTE}}}$	$t_{LUNA} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot \dfrac{h}{sen\, \alpha_{LUNA}}}{g \cdot sen\, \alpha_{LUNA}}}$
$\alpha_{MARTE} = arcsen \dfrac{\sqrt{\dfrac{2 \cdot h}{g}}}{t_{MARTE}}$	$\alpha_{LUNA} = arcsen \dfrac{\sqrt{\dfrac{2 \cdot h}{g}}}{t_{LUNA}}$
$\alpha_{MARTE} = arcsen \dfrac{\sqrt{\dfrac{2 \cdot 2.10\, m}{9.8\, \dfrac{m}{s^2}}}}{2.4\, s}$	$\alpha_{LUNA} = arcsen \dfrac{\sqrt{\dfrac{2 \cdot 2.10\, m}{9.8\, \dfrac{m}{s^2}}}}{3.7\, s}$

$\alpha_{MARTE} \approx 16°$	$\alpha_{LUNA} \approx 10°$

Tabla 8: Cálculo de los ángulos de inclinación para la construcción de las rampas.

Finalmente, llegamos a que los largos de las respectivas rampas de deslizamiento son las que se dan en la Tabla 9:

$L_{MARTE} \approx 7.7\,m$	$L_{LUNA} \approx 12.1\,m$

Tabla 9: Longitudes de las rampas de los toboganes de Marte y la Luna.

En síntesis, para que los tiempos de caída a lo largo de las rampas de cada tobogán se correspondan fielmente con los tiempos teóricos de caída libre en Marte y en la Luna, y poder compararlos con el tiempo de caída libre en la Tierra, las longitudes e inclinaciones de las rampas deberían ser las que se dan en la Tabla 10:

Síntesis de las dimensiones espacio temporales de los toboganes de la Tierra, Marte y la Luna (para 2.10 m de altura, común a los tres toboganes)		
Tierra	**Marte**	**Luna**
Longitudes de las rampas de los respectivos toboganes		
$L_{TIERRA} = 4.8\,m$	$L_{MARTE} = 7.7\,m$	$L_{LUNA} = 12.1\,m$
Inclinaciones de las rampas		
$\alpha_{TIERRA} \approx 27°$	$\alpha_{MARTE} \approx 16°$	$\alpha_{LUNA} \approx 10°$
Tiempos de caída en cada tobogán (sin rozamiento)		
$t_{TIERRA} \approx 1.5$ s	$t_{MARTE} \approx 2.3$ s	$t_{LUNA} \approx 3.7$ s

Tabla 10: Dimensiones espaciales y temporales de los toboganes.

11. Cómo se verían los tres toboganes: terrestre, marciano y lunar

Si los tres toboganes se construyeran realmente, a partir de una misma altura, variando el ángulo y el largo de las respectivas rampas, la apariencia general sería la que se presenta en la Figura 8:

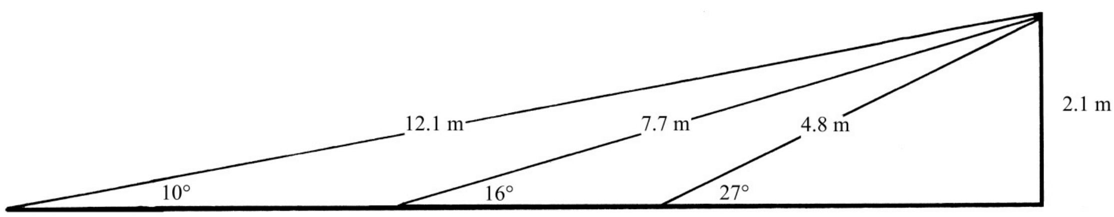

Figura 8: Toboganes de la Luna (izq.), de Marte (centro) y de la Tierra (der.), a escala, según el largo e inclinación de sus respectivas rampas de deslizamiento.

Es claro que un tobogán cuya rampa tenga una longitud de 12 metros, como el lunar, podría presentar algunas complicaciones estructurales en su construcción; no sería así para las rampas correspondientes a los toboganes marciano y terrestre.

Más allá de esto, la utilidad didáctica de los mismos sería sorprendentemente adecuada para vivenciar de qué manera se sentiría caer libremente desde una cierta altura en la Luna o en Marte, comparándolo con lo que habitualmente sentimos en la Tierra.

Una posible estructura para la construcción de estos dispositivos se muestra en la figura siguiente, parte de un proyecto denominado “El Rincón de Astronomía” (Departamento del Profesorado en Física y Química, UNCPBA, Olavarría, Argentina), aún en proceso. El conjunto consiste en una única plataforma de acceso (de altura h), de la cual salen los tres toboganes, pintados con los colores azul, rojo y gris. Los espacios entre las respectivas rampas están cubiertos por redes, a modo de trepadoras (y como seguridad ante posibles accidentes). El tobogán de la Luna termina en el “arenero lunar”, con formas que copian el relieve de una región de la cara visible de la Luna. (Figura 9)

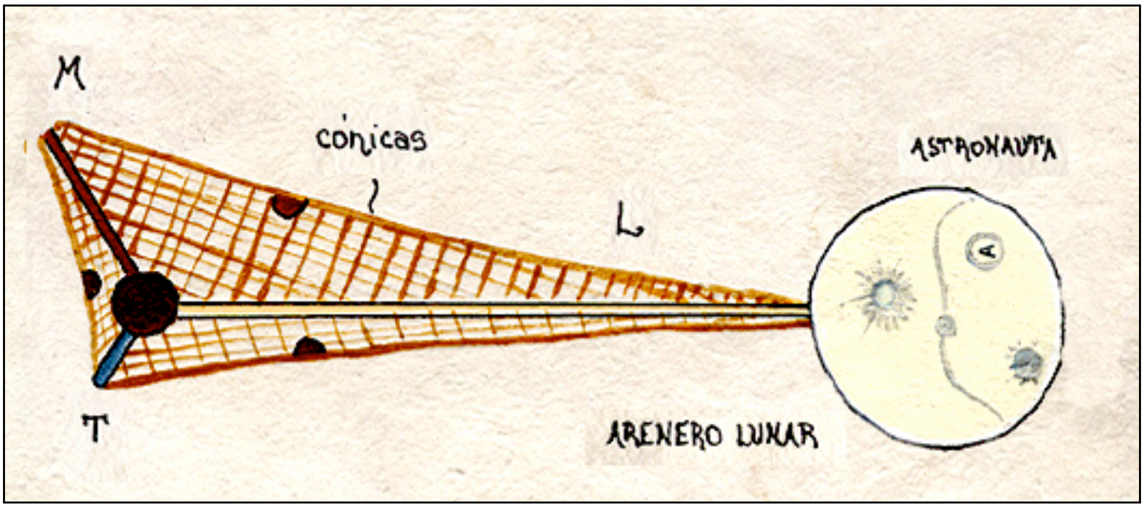

Figura 9: Vista en planta del conjunto de toboganes de la Tierra, Marte y la Luna, para “El Rincón de Astronomía”.

Los futuros astronautas de Marte, quienes hoy están estudiando en los Jardines de Infantes de la Tierra, y habitualmente juegan en los toboganes de las plazas terrestres, seguramente deberán diseñar nuevos juegos acordes a la gravedad marciana, divertidos pero necesariamente diferentes a los originales terrestres, si algún día se logra finalmente no sólo visitar y explorar, sino vivir en Marte.

12. A modo de Conclusión: Los docentes, los juegos astronómicos y la Didáctica de la Astronomía

Los distintos juegos astronómicos, tanto como en particular las calesitas y toboganes aquí presentados, y todo otro dispositivo, modelo, maqueta, etc., diseñados para la Enseñanza de la Astronomía, tienen una intencionalidad directa: el acompañar a quienes aprenden en el proceso de construcción de aprendizajes, brindándoles herramientas concretas que, seguramente, facilitarán tal proceso, a través de la manipulación, de la vivencia corporal directa y de comenzar a imaginar con mayor profundidad.

Por esta razón, es esencial que los docentes sean parte activa y responsable de acompañar a los chicos en el largo proceso que implica el aprendizaje de conceptos astronómicos. Sin el acompañamiento de los docentes, la interacción de los chicos con estos juegos no asegura, per-se, el aprendizaje de conceptos de Astronomía. En el mejor sentido, si viéramos chicos jugando con las calesitas o los toboganes, sólo podríamos asegurar que se están divirtiendo en unos tradicionales juegos de plaza.

Los aspectos didácticos, intencionales, del diseño y posterior utilización de los módulos didácticos aquí presentados (y de cualesquiera otros) sólo se satisfacen si la apropiación de los mismos por parte de los chicos se da en compañía de los docentes, quienes tendrán la función de resignificar parte de lo que sucede al jugar, orientándolo hacia el aprendizaje de los conceptos que correspondan en cada situación educativa.

Referencias

AUSUBEL, D., NOVAK, J., HANESIAN, H. **Psicología educativa**. Un punto de vista cognoscitivo. Ed. Trillas, 1983. 2ª Ed., México. ISBN 9682413346, 9789682413346.

CAMINO, N. Sitio web“Complejo Plaza del Cielo: un lugar para aprender y jugar con la Astronomía”. 1992 y subsiguientes. www.plaza-del-cielo.com.ar . Último acceso: 7 de julio de 2012.

CAMINO, N. Sobre la Didáctica de la Astronomía y su Inserción en EGB. En KAUFMAN, M., FUMAGALLI, L., **Enseñar Ciencias Naturales. Reflexiones y Propuestas Didácticas**. Ed. Paidós, Bs. As., Arg., ISBN 950-12-2140-7, pp. 143-173. 1999.

CAMINO, N. Aprender a imaginar para comenzar a comprender. Los Modelos Concretos como herramientas para el aprendizaje en Astronomía. **Revista Alambique**, Nº 42, Monográfico “De las concepciones a los modelos en la enseñanza de las ciencias”, Sevilla, España. pp. 81-89. 2004.

CAMINO, N. **Génesis y evolución del concepto de gravedad. Construcción de una visión de Universo**. 2006. Tesis (Doctorado en Cs. de la Educación). Fac. de Humanidades y Cs de la Educación. UN de La Plata, Argentina. Cap. 1: Estado del Arte de la Inv. en Educación relacionada al concepto de “gravedad”. Disponible en http://163.10.34.134/search/request.php?id_document=ARG-UNLP-TPG-0000000445&request=request Último acceso: 7 de julio de 2012.

GALILI, I. Weight and gravity: teachers' ambiguity and students' confusion about the concepts”. **Int. J. Sci. Educ.**, 15 (2), 149-162. 1993.

GIORDAN, A., DE VECCHI, G. **Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos**, Díada Editora, Sevilla, España (Segunda Edición). 1995. ISBN 978-84-87118-01-2.

KOYRÉ, A. **Estudios galileanos**. Siglo XXI, Madrid. 1980. ISBN 8432303887, 9788432303883

KRAPAS, S., QUEIROZ, G., COLINVAUX, D., FRANCO, C. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciencias. **Investigaçoes em Ensino de Ciencias** (electrónica), N.3, Vol.2. Instituto de Física, UFRGS, Brasil.1997. Disponible en http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/krapas.htm . Último acceso: 7 de julio de 2012.

LANCIANO, N., CAMINO, N. Del ángulo de la geometría a los ángulos en el cielo. Obstáculos para la conceptualización de las coordenadas astronómicas. **Enseñanza de las Ciencias**. 26 1, 2008. Barcelona, España.