Revista de Enseñanza de la Física, vol. 33, núm. 3, 2021, pp. 89-100.

Uso de la planilla de cálculo para la comprensión del movimiento diario del Sol a partir de observaciones del cielo realizadas durante la no presencialidad.

Diego Galperin, Josué Dionofrio y Andrés Raviolo.

Cita:

Diego Galperin, Josué Dionofrio y Andrés Raviolo (2021). *Uso de la planilla de cálculo para la comprensión del movimiento diario del Sol a partir de observaciones del cielo realizadas durante la no presencialidad. Revista de Enseñanza de la Física, 33 (3), 89-100.*

Dirección estable: https://www.aacademica.org/diegogalperin/49

ARK: https://n2t.net/ark:/13683/pnsZ/OVE

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.
Para ver una copia de esta licencia, visite
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es.

Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto*. Acta Académica fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: https://www.aacademica.org*.

REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

VOLUMEN 33, NÚMERO 3 | JULIO-DICIEMBRE 2021 | PP. 89-100
ISSN: 2250-6101
(cc) BY-NC-ND

Uso de la planilla de cálculo para la comprensión del movimiento diario del Sol a partir de observaciones del cielo realizadas durante la no presencialidad

The use of the spreadsheet for understanding the daily solar movement from observations of the sky made in non-presential classes

Diego Galperin[1]*, Josué Dionofrio[2] y Andrés Raviolo[1]

[1]Universidad Nacional de Río Negro. Villegas 147, Bariloche, CP 8400, Río Negro. Argentina.

[2]Colegio Highest College Hull Cordell. Crisólogo Larralde 3281, CP 1429, Ciudad de Buenos Aires. Argentina.

***E-mail: dgalperin@unrn.edu.ar**

Recibido el 3 de junio de 2021 | Aceptado el 26 de octubre de 2021

Resumen

Se presenta una propuesta para reconstruir el movimiento diario del Sol en el cielo local a partir de observaciones realizadas por los estudiantes desde sus propias casas en épocas de no presencialidad escolar. Cada estudiante debía medir la dirección y el largo de la sombra de una estaca vertical en cuatro distintos momentos del día y se programó una planilla de cálculo para representar dichas mediciones en un gráfico polar. Se analizaron los datos de todo el curso y se representó el desplazamiento solar. Se detalla la propuesta, la metodología y los resultados obtenidos en su implementación con un grupo de estudiantes de nivel secundario. Se elaboran conclusiones respecto al uso de este recurso para la modelización de un mismo fenómeno al ser medido por distintos observadores. La secuencia permitió vincular a los estudiantes con la observación del movimiento solar tal como es percibido en su propio entorno celeste, además de favorecer el desarrollo de competencias científicas relacionadas con los procesos de medición, representación gráfica, análisis de datos y modelización.

Palabras clave: Observación; Movimiento diario del Sol; Planilla de cálculo; Gráfico polar; Modelización.

Abstract

This work presents a proposal to reconstruct the daily solar movement from observations made by students from their own homes in times of non-presential classes. The measurement of the direction and length of the shadow of a vertical stake at four different times of the day was proposed to each student, and a spreadsheet was programmed to represent these measurements on a polar graph. The data obtained were analyzed and the solar displacement was represented. The proposal, the methodology and the results obtained in its implementation with a group of high school students are detailed. Conclusions are presented on the use of this resource for modeling the same phenomenon when it is measured by different observers. The sequence made it possible to relate students to the solar movement as it is perceived in their own celestial environment, in addition to favoring the development of scientific skills related to measurement, graphic representation, data analysis and modeling.

Keywords: Observation; Daily solar movement; Spreadsheet; Polar graph; Modeling.

I. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones realizadas en las últimas décadas acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos ponen en evidencia su escasa comprensión por parte de estudiantes de todos los niveles (Baxter, 1989; Schoon, 1992; Trumper, 2001; Chiras y Valanides, 2008; Alvarez, Galperin y Quinteros, 2018), además de revelar una relativamente baja presencia de propuestas que vinculen estrechamente su enseñanza con la observación del movimiento de los astros en el cielo (Galperin y Raviolo, 2014). En este sentido, un enfoque didáctico alternativo plantea la relevancia de utilizar el sistema de referencia topocéntrico, centrado en un punto de la superficie terrestre, lo que permite explicarlos a partir de la descripción de los movimientos que realizan el Sol, la Luna y las estrellas nocturnas en el cielo local (Galperin, 2016). Esto permite relacionar los fenómenos celestes con las percepciones y vivencias cotidianas.

Pese a su relativa simplicidad, la posibilidad de utilizar dicho enfoque se vio dificultada durante el período de educación no presencial debido a la pandemia de Covid-19, especialmente desde las grandes ciudades donde suelen existir obstáculos que bloquean o dificultan la visión directa del cielo (edificios, árboles, luminarias, etc.). Sin embargo, con el fin de sostener este enfoque netamente observacional, se desarrolló una propuesta para reconstruir el movimiento diario del Sol en el cielo a partir de unas pocas observaciones realizadas por los estudiantes desde sus propias casas. Para ello, se solicitó que cada estudiante realice la medición de la dirección y la longitud de la sombra de una estaca vertical (gnomon) en cuatro distintos horarios del día, aprovechando el momento en que el Sol ingresa por alguna de sus ventanas. Con el fin de vincular los datos obtenidos por todo el curso y organizarlos de forma tal de poder representar el desplazamiento solar diario en forma completa, se diseñó una hoja de cálculo para que cada estudiante vuelque sus mediciones y que las mismas aparezcan representadas en un gráfico polar indicativo de la dirección y la altura del Sol en los distintos momentos del día. El análisis de este gráfico permitió determinar errores de medición, construir la trayectoria solar media correspondiente a la época de medición y, posteriormente, utilizar el *software* libre Stellarium para estudiar qué cambios se observarían a lo largo del año o al cambiar de ubicación.

Aquí se presentan los fundamentos de la propuesta desarrollada, la planilla de cálculo diseñada y los resultados obtenidos en una primera implementación del dispositivo didáctico con el fin de producir futuras mejoras en el mismo. La evaluación de la propuesta indica que la misma resultó útil para lograr un acercamiento de los estudiantes a la comprensión del modo en que se desplaza el Sol en el cielo local y, al mismo tiempo, al proceso de construcción de modelos propio de la actividad científica.

II. MARCO TEÓRICO

En esta sección se detallan los aspectos conceptuales y didácticos que guiaron el diseño, implementación y evaluación de la propuesta desarrollada. La misma se fundamentó en aspectos vinculados a la utilización del sistema de referencia topocéntrico para la enseñanza de la astronomía, a la relevancia del proceso de construcción de modelos en las clases de ciencias y al uso de la planilla de cálculo como recurso didáctico.

A. Sistemas de referencia y enseñanza de la astronomía

Al analizar las posibles causas de las dificultades existentes para la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos (día/noche, estaciones del año y fases lunares) por parte de estudiantes de todos los niveles educativos, algunas investigaciones sugieren que las mismas se encuentran relacionadas con la utilización preponderante de explicaciones basadas en los movimientos de la Tierra y de la Luna vistos desde el espacio exterior. Esto implica determinadas habilidades visoespaciales para su comprensión, requiere poseer conocimientos anteriores y tener la posibilidad de realizar una superposición de dos puntos de vista diferentes: el externo a la Tierra junto con el visible desde su superficie (Parker y Heywood, 1998; Black, 2005; Plummer *et al.*, 2014). Para superar estas dificultades, otro enfoque didáctico propone utilizar el sistema de referencia topocéntrico, centrado en un punto de la superficie terrestre, el cual permite construir explicaciones de dichos fenómenos a partir de la descripción de los movimientos que realizan los astros en el cielo local vistos desde la propia posición del observador (Galperin, 2016).

Esta postura didáctica no implica en modo alguno negar o poner en un segundo plano al sistema de referencia heliocéntrico. Por el contrario, implica reconocerlo como un posible punto de vista explicativo a alcanzar a lo largo del paso de los estudiantes por los distintos años de escolaridad, explicitando las dificultades que implica su comprensión y, sobre todo, enfatizando sus escasas posibilidades de relación con los fenómenos tal como son observados en el cielo local todos los días. Esto ha provocado serios cuestionamientos respecto al sentido de su utilización como única explicación válida dentro del contexto escolar (Lanciano, 1989; López-Gay *et al.*, 2009; Shen y Confrey, 2010; Galperin, 2011; Plummer *et al.*, 2011; Jiménez Liso *et al.*, 2012).

Pese a lo mencionado anteriormente, la mayoría de los libros escolares y recursos audiovisuales que se utilizan para la enseñanza de la astronomía presentan los fenómenos celestes explicados a partir de la descripción de los movimientos de los astros vistos desde el espacio exterior (Galperin y Raviolo, 2014; Galperin *et al.*, 2020). Esto deja de lado la posibilidad de explicar el ciclo día/noche a partir del movimiento diario del Sol en el cielo, del horizonte oriental al occidental, con su plano de movimiento inclinado hacia el norte (en el hemisferio sur). A su vez, las estaciones del año pueden explicarse a partir del movimiento anual norte – sur del Sol en el cielo, lo que provoca cambios en su lugar y horario de salida y puesta, y en su altura en el mediodía solar. Por su parte, desde este punto de vista, las fases lunares pueden presentarse como una consecuencia del movimiento propio de la Luna en el cielo, generando que sea visible una mayor o menor proporción de su mitad iluminada por el Sol (Galperin, 2016).

La utilización del sistema de referencia topocéntrico permite, a su vez, acercar a los estudiantes a sus propias vivencias astronómicas cotidianas posibles de percibir desde sus propias casas. Esto favorece la enseñanza de tópicos de relevancia, como sistema de referencia y modelo científico, además de promover el desarrollo de competencias vinculadas al trabajo científico, tales como la generación de hipótesis, la modelización, la elaboración de predicciones y la confrontación de las propias ideas con los fenómenos del mundo natural.

B. Modelos y modelización en la enseñanza de las ciencias

La concepción de modelo como cualquier representación que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre un sistema que se está estudiando, posee amplia potencialidad. Permite concebir la ciencia escolar como un espacio para pensar acerca de ciertos hechos-clave reconstruidos para dar sentido a los fenómenos del mundo que nos rodea, incorporando modelos de enseñanza adecuados al problema planteado, al momento de aprendizaje y al grupo e institución en la que se trabaja (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

La enseñanza basada en modelos se concibe como cualquier implementación didáctica que procura facilitar la construcción de modelos mentales (Johnson-Laird 1983), teniendo como meta la mejora en la comprensión de los estudiantes sobre los modelos y su rol en la ciencia. Para ello se promueve la construcción de modelos de enseñanza que, en modo similar a como lo hacen los modelos científicos, actúen como mediadores entre la teoría y la realidad (Lombardi 1998). Desde esta perspectiva, se apunta a un proceso de aprendizaje a largo plazo en el cual se plantean uno o más modelos intermediarios que permitan ir transitando desde las concepciones iniciales de los estudiantes hasta alcanzar el modelo objetivo de enseñanza (Clement, 2000).

Este enfoque didáctico centrado en la construcción de modelos se encuentra orientado a relacionar las representaciones del mundo que poseen los científicos en torno a un determinado fenómeno físico con las presentes en el ámbito escolar, tanto en docentes como en estudiantes (Gilbert, Boulter y Rutherford, 2000). En este sentido, la ciencia escolar presenta diferencias significativas con la ciencia de los científicos al encontrarse formada por una serie de etiquetas lingüísticas, conceptos y modelos propios que facilitan la comprensión de los fenómenos por parte de los estudiantes. Por ese motivo, la construcción del concepto de modelo resulta relevante con el fin de que los estudiantes comprendan que todos ellos, tanto los escolares como los científicos, representan construcciones provisorias y perfectibles en las que cobran relevancia su poder explicativo, su sencillez y su riqueza teórica (Galagovsky y Adúriz-Bravo 2001).

Dado que la modelización representa una de las actividades científicas centrales, favorecer las actividades de construcción de modelos familiariza a los alumnos con las actividades propias de la ciencia propiciando la enseñanza de métodos de razonamiento característicos del quehacer científico. De este modo, es posible que los estudiantes se apropien de nuevos conocimientos, que conozcan formas en que funciona la ciencia y que puedan comprender la estrecha vinculación de los modelos con aspectos sociales y culturales (Boilevin, 2000).

C. El movimiento del Sol en el cielo: día/noche y estaciones

Dado que no suele encontrarse en la mayor parte de los materiales educativos dirigidos a los distintos niveles de enseñanza, a continuación se desarrolla la síntesis del modelo cinemático celeste explicativo del movimiento diario y anual que realiza el Sol en el cielo a partir de la utilización del sistema de referencia topocéntrico. Esta explicación centrada en la posición de un determinado observador sobre la superficie terrestre será el modelo objetivo a alcanzar durante el proceso de enseñanza, utilizándose como modelo intermediario (Clement, 2000) hacia la construcción del modelo heliocéntrico. Dado el carácter local de los movimientos celestes, se brinda la explicación para un observador situado en latitudes medias del hemisferio sur, indicándose los cambios que se deben realizar para que la explicación pueda utilizarse en latitudes medias del hemisferio norte. La misma debe ser modificada y complejizarse en caso de querer utilizarse para localidades ubicadas entre los trópicos. La comprensión de las causas de estos cambios visibles en el cielo excede el carácter sintético divulgativo de esta sección.

Para explicar el movimiento de los astros en el cielo es necesario definir el *horizonte* astronómico, el cual se describe como el plano imaginario tangente a la Tierra en una determinada ubicación. A partir de esta definición, la posición de un astro en el cielo puede indicarse mediante dos coordenadas que dependen de la ubicación del observador. El *acimut* es el ángulo horizontal medido desde una dirección de referencia convencional girando en sentido horario (N-E-S-O) hasta la proyección vertical del astro sobre el horizonte. En esta propuesta se decidió tomar la dirección norte como referencia, usada en el hemisferio boreal, con el fin de compatibilizar el valor medido con lo que indica el programa Stellarium. En consecuencia, si un astro posee acimut igual a 270°, esto indica que se encuentra ubicado en el cielo en dirección hacia el oeste. Por su parte, la *altura* indica el ángulo vertical que hay que medir para llegar desde el horizonte local hasta el astro que se desea ubicar. Por lo tanto, la altura de un astro visible en el cielo puede tener un valor que varía entre los 0° (el horizonte) y los 90° (el cenit).

Dado que la esfera celeste gira constantemente debido a la rotación terrestre, los astros van modificando su posición y, en consecuencia, su acimut y altura irán cambiando. De este modo, es posible describir el *movimiento diario del Sol* como aquel que realiza desde que sale por un punto del horizonte oriental (el *levante*) hasta que se pone, varias horas después, por algún punto del horizonte occidental (el *poniente*). En ambas situaciones su altura es 0°, aunque su acimut varía debido a que su lugar de salida y puesta cambia a lo largo del año. Luego de su salida, el Sol aumenta continuamente su altura hasta llegar al *mediodía solar*, instante en que posee su altura máxima del día al cruzar el meridiano local. En ese momento, el Sol se ubica mirando en dirección hacia el norte y, por lo tanto, la sombra de un gnomon se proyectará justo en la dirección sur, siendo su longitud la menor de todo el día. En latitudes medias del hemisferio norte, en cambio, el Sol se ubica hacia el sur en el mediodía solar, por lo que la sombra del gnomon apunta hacia el norte en ese instante. Luego del mediodía solar, el Sol continúa su movimiento disminuyendo paulatinamente su altura hasta su puesta.

El ascenso y descenso del Sol en el cielo no se produce en forma vertical dado que su plano de movimiento se encuentra inclinado un cierto ángulo α respecto al horizonte local y cuyo valor tiene relación con la latitud ϕ del lugar: $\alpha = 90° - \phi$. En el hemisferio sur, dicho plano se encuentra inclinado hacia el norte, mientras que se encuentra inclinado hacia el sur en el otro hemisferio. Por ese motivo, en estas latitudes (fuera de la franja comprendida entre los trópicos), el Sol nunca se ubica justo encima de nuestras cabezas (el *cenit*), por lo que un gnomon proyectará sombra todos los días del año. Este movimiento diario del Sol permite explicar el ciclo día/noche: cuando el Sol se encuentra por encima del horizonte es de día, mientras que es de noche cuando se ubica por debajo (figura 1). Pese a lo que la mayor parte de las personas suponen, la Luna no guarda relación con este fenómeno.

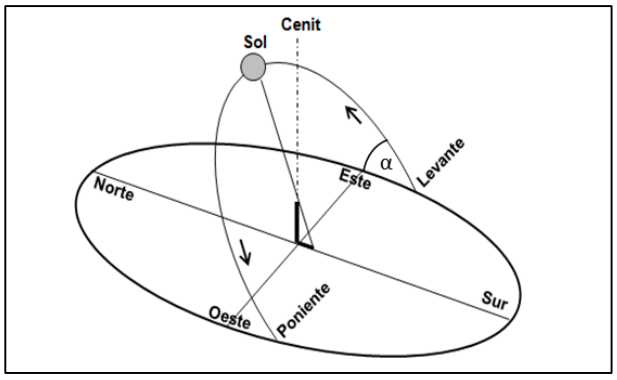

FIGURA 1: Movimiento diario del Sol en el cielo y posición del Sol en el mediodía solar para una localidad situada en latitudes medias del hemisferio sur, con el plano de movimiento inclinado hacia el norte. Permite explicar el ciclo día/noche.

El plano correspondiente al movimiento diario solar se va desplazando en dirección norte – sur sin modificar su inclinación a lo largo del año. Este *movimiento anual del Sol* provoca que se observe una variación diaria en su lugar y horario de salida y de puesta. En consecuencia, el Sol sale justo por el este y se pone justo por el oeste sólo dos días del año, llamados *equinoccios*: el 20 de marzo y el 23 de septiembre. Su desplazamiento máximo hacia el norte y hacia el sur ocurre el 21 de junio y el 21 de diciembre, respectivamente, cuando tienen lugar los *solsticios*. Este desplazamiento anual provoca que cambie la altura del Sol en el mediodía solar y la cantidad diaria de horas de luz, produciendo la sucesión de las estaciones del año. Cuando el Sol se desplaza hacia el norte, en el hemisferio sur se lo observa a menor altura y menos horas arriba del horizonte, por lo que ocurren las estaciones más frías del año. En cambio, cuando el Sol se desplaza hacia el sur se lo observa más alto y más tiempo arriba del horizonte. (figura 2).

En contraposición, los observadores situados en latitudes medias del hemisferio norte ven al Sol más bajo cuando éste se desplaza hacia el sur, provocando las estaciones más frías, y lo ven más alto cuando el Sol se desplaza hacia el norte, generando las estaciones más cálidas del año.

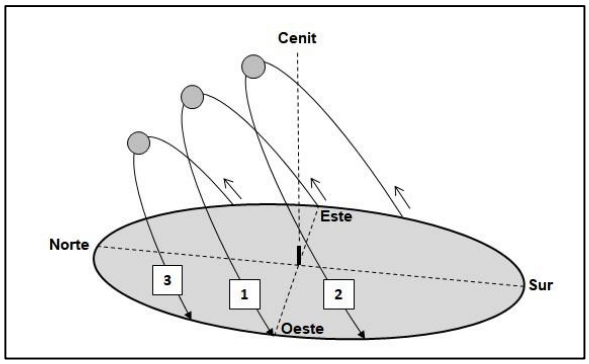

FIGURA 2: Movimiento anual del Sol para una latitud media del hemisferio sur. Se indican las trayectorias correspondientes a los equinoccios (1) y a los solsticios de verano (2) e invierno (3). Permite explicar las estaciones del año.

D. La planilla de cálculo y su utilización didáctica

La hoja o planilla de cálculo fue creada como una aplicación para realizar tareas contables. Sin embargo, su uso se ha diversificado y masificado a partir de la incorporación de nuevos recursos que incluyen bibliotecas de funciones matemáticas y estadísticas, complementos potentes, funciones e interfaces gráficas altamente funcionales y la capacidad de escribir código personalizado. En consecuencia, se ha convertido en un *software* indispensable en los más diversos campos, incluyendo su uso cada vez más extendido en el ámbito educativo (Baker y Sugden, 2003).

Distintos autores han señalado el enorme potencial que posee el uso de la planilla de cálculo para el aprendizaje de temas de ciencia en los distintos niveles educativos al permitir que los estudiantes se concentren en la comprensión del problema físico, dejando de lado los aspectos matemáticos o de programación que pueden no resultar relevantes. En este sentido, su utilidad radica en que permiten realizar (Raviolo, 2002):

- Registro de resultados: tablas de resultados obtenidos en experimentos.
- Análisis de datos: tratamiento de errores, cálculos de promedios y otras funciones estadísticas.
- Búsqueda de relaciones: uso de fórmulas para valorar las relaciones entre las variables de un fenómeno.
- Cálculos: simplificar o evitar cálculos complejos.
- Uso de gráficos: uso de distintos tipos de gráficos para representar los datos.
- Ajuste de curvas: ajustar los datos a curvas (lineal, potencial, exponencial).
- Modelización: responder preguntas del tipo “¿qué pasa si?”. Introducción de datos y obtención de resultados.

Las actividades de modelización y simulación ayudan a implicarse con los aspectos más creativos de la ciencia ya que facilitan la comprensión de la práctica científica y el proceso de construcción de representaciones externas, permitiendo avanzar en la indagación de los fenómenos a partir de comunicar los resultados de forma simplificada. En este sentido, el modelado mediante la planilla de cálculo facilita la visualización de conceptos o relaciones abstractas y complejas, haciéndolas accesibles y manejables cognitivamente. A su vez, permite la realización de diversas tareas de análisis en un tiempo breve, lo que promueve la retroalimentación, incrementando el interés de los estudiantes y contribuyendo al aprendizaje de conceptos científicos y tecnológicos (Benacka, 2016).

Por su parte, su utilización favorece la integración de distintos niveles de representación de los fenómenos físicos, pudiendo focalizarse la tarea educativa en uno o varios de los aspectos involucrados: lo macroscópico o experimental, lo microscópico, lo simbólico (ecuaciones y fórmulas) o lo gráfico. De este modo, es posible establecer momentos de enseñanza diferenciados centrados en distintas cuestiones: teóricas, resolución de problemas o prácticas experimentales. A su vez, su uso permite pautar distintos tipos de actividades de aprendizaje centradas en los estudiantes, desde muy abiertas a totalmente cerradas, y posibilitan la inclusión de etapas de interacción, haciendo posible la resolución de problemas complejos y el manejo de gran cantidad de datos (Beare, 1993).

La planilla de cálculo representa una poderosa herramienta para analizar y graficar los datos de experimentos tradicionales, de experimentos más avanzados y complejos, o de simulaciones que requieren técnicas numéricas simples y poderosas (Guglielmino, 1989). Las simulaciones son programas que permiten poner en funcionamiento un modelo de un proceso o fenómeno del mundo natural, permitiendo distintos grados de intervención del usuario que, en muchos casos, puede manipular algunas de las condiciones iniciales y observar el resultado a través de animaciones, gráficos y resultados numéricos (Esquembre, 2004). Algunas simulaciones ocultan adrede el modelo matemático que hay detrás con el fin de hacer hincapié en lo conceptual, evitando el rechazo que pueden generar las ecuaciones matemáticas. En este sentido, los estudiantes perciben como una ventaja que las simulaciones oculten el modelo físico-matemático (Ortega *et al.*, 2010).

Por otro lado, el empleo de la hoja de cálculo puede tener limitaciones o desventajas debido a su uso superficial o anecdótico, a la actitud pasiva de los estudiantes, al desvío de los propósitos pedagógicos y disciplinares o al refuerzo de concepciones alternativas (Raviolo, Alvarez y Aguilar, 2011). Al mismo tiempo, la ventaja que brinda al poder dar en forma rápida una representación externa de un fenómeno, gráfica o simbólica, no implica en modo alguno que los estudiantes logren interpretarla inmediatamente. Esto dependerá de la capacidad de cada estudiante para construir una representación interna acorde, lo que estará influido por los conocimientos previos que posea, por su interés en la temática, por sus propias concepciones alternativas, por sus capacidades y habilidades mentales, por el modo en que se planifiquen las clases y, sobre todo, por el proceso de construcción de significado.

Dado que los gráficos cumplen la función de presentar relaciones cuantitativas entre variables, los mismos pueden ser interpretados por los estudiantes en tres niveles distintos de profundidad: a) superficialmente a partir de la información explícita visible, b) interpretando las convenciones utilizadas para obtener información implícita y c) dando significado a los datos de la gráfica y obteniendo, de ese modo, información conceptual. Dada la complejidad de esta tarea, es importante que los docentes dediquen un tiempo para enseñarlos y para explicar su información implícita y conceptual (Raviolo, 2019). En consecuencia, cobra relevancia el desarrollo de propuestas que utilicen la planilla de cálculo como recurso didáctico para la enseñanza y el aprendizaje acerca de los fenómenos físicos, conociendo sus ventajas y limitaciones, y que las mismas sean probadas y evaluadas en situaciones de clase.

III. DISEÑO DE LA SECUENCIA DE ENSEÑANZA

La propuesta elaborada se encuentra inserta dentro de la asignatura Física de nivel secundario y corresponde a la enseñanza de contenidos que no suelen desarrollarse en forma experimental en las aulas, tales como sistemas de referencia y movimiento. A su vez, pese a la motivación que suele provocar en los estudiantes y a su relevancia para la vida cotidiana y para la comprensión de la historia de la ciencia, los contenidos de astronomía observacional no se encuentran incluidos dentro de los diseños curriculares de la ciudad de Buenos Aires, jurisdicción donde se implementó la propuesta, ni siquiera en aquellas escuelas que poseen orientación relacionada con la formación en Ciencias Naturales. En consecuencia, se diseñó una secuencia de enseñanza que permite relacionar ambos tópicos: sistemas de referencia y astronomía observacional. La misma tiene como propósito la construcción por parte de los estudiantes de un modelo mental topocéntrico acerca de cómo se desplaza el Sol en el cielo local a partir de observaciones realizadas desde sus casas durante el período de clases no presenciales debido a la pandemia de Covid-19. Para ello, se elaboró una propuesta focalizada en el uso de la planilla de cálculo como recurso tecnológico para registrar las observaciones llevadas a cabo por los estudiantes y se la programó para que las mismas queden representadas en un gráfico polar, el que pudo ser analizado con el fin de modelizar cómo se produce el desplazamiento solar en el cielo local y los cambios que podrían observarse en otras épocas del año.

Como etapa inicial de la secuencia se plantea una instancia de medición experimental directa basada en el registro de la posición y la longitud de la sombra de un gnomon en distintos momentos del día, lo que hace posible que los estudiantes determinen el acimut y la altura del Sol en dichos horarios. Se propone un sistema colaborativo donde cada estudiante debe aportar unas pocas mediciones para lograr la descripción completa del movimiento diario del Sol, un fenómeno fácilmente observable que posee pequeñas variaciones que pueden ser despreciables al estar los observadores posicionados a unos kilómetros de distancia entre sí. En este sentido, se estimó que la diferencia en los valores de acimut y altura ocasionada por estar en distintas posiciones dentro de la misma ciudad no sería mayor que la incerteza experimental presente en cada medición. Del mismo modo, se consideró poco significativo el efecto de la variación del recorrido diario del Sol en un lapso de pocos días. En consecuencia, se planteó un plazo de diez días, incluidos dos fines de semana, para que cada estudiante realice cuatro mediciones de la sombra en un mismo día y con una diferencia mínima de media hora entre ellas.

La actividad a realizar por los estudiantes se detalló en un material escrito, el cual fue explicado en un encuentro sincrónico con ellos. En el mismo se presenta el dispositivo experimental a construir, el cual consiste en un cartón cuadrado de unos 50 cm de lado al que deben pegarle en su centro un círculo graduado de 0° a 360° que se les entrega para recortar. En el centro tienen que colocar un palillo de unos 10 cm de alto con el fin de medir la longitud y el ángulo correspondiente a su sombra. Se les indica que deben medir la altura del palillo con precisión, que tienen que apoyar el dispositivo sobre una superficie horizontal y que es importante asegurar la verticalidad del gnomon (con un hilo y un peso colgado de él). A su vez, el dispositivo debe ser orientado para que los 180° indicados en el cartón graduado apunten aproximadamente hacia el norte. Para ello deben utilizar una brújula o una aplicación del celular que cumpla con tal función. Se les aclara que la brújula no indica con precisión el norte geográfico, pero que esta diferencia no será relevante dado que todos la tendrán incorporada en sus mediciones (figura 3).

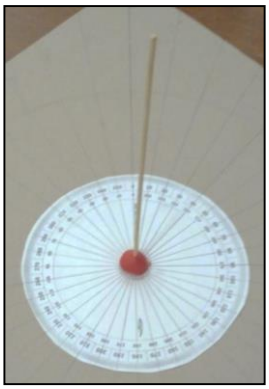

FIGURA 3. Imagen del dispositivo experimental armado.

A continuación, se brindó a los estudiantes una breve explicación acerca de las coordenadas astronómicas topocéntricas que utilizarán, acimut y altura, y sobre cómo podrán obtener la posición del Sol en el cielo en dichas coordenadas a partir de la medición de las sombras del gnomon. En este sentido, se les explica que el cartón lo orientaron con el valor 180° apuntando hacia el norte (opuesto a la convención de acimut), para que el ángulo correspondiente a la sombra coincida con el valor del acimut del Sol en ese momento. De este modo, cuando la sombra del gnomon apunte hacia el sur, su ángulo en el círculo graduado será de 0° y coincidirá con el valor del acimut del Sol en ese momento (ubicado hacia el norte). A su vez, se les explica que con la medición del largo de la sombra L y de la altura de la varilla H, los estudiantes podrán calcular la altura h del Sol: h_{SOL} = arctg (H/L).

Luego de realizadas las mediciones, cada estudiante deberá volcar sus mediciones de horario, acimut y altura del Sol en una planilla de cálculo online diseñada con el fin de sistematizar y representar la trayectoria solar en un gráfico polar en el que quedarán indicadas las coordenadas acimut y altura de cada medición. Para simplificar su interpretación por los estudiantes, el gráfico se orientó del mismo modo que los planisferios que se suelen utilizar en las escuelas, con el norte hacia arriba (acimut 0°) y el este a la derecha (acimut 90°). De este modo, se simula la posición de los puntos cardinales en el horizonte local tal como se "observarían" imaginariamente desde el cenit. El gráfico posee círculos concéntricos que representan la altura del astro en el cielo, siendo el círculo de mayor diámetro el horizonte (altura 0°) y el punto central el cenit (altura 90°). De este modo, diferentes mediciones de la posición del Sol realizadas en fechas próximas y desde ubicaciones cercanas pueden ser representadas y analizadas mediante un modelo bidimensional con el cual es posible extraer conclusiones y efectuar predicciones (figura 4).

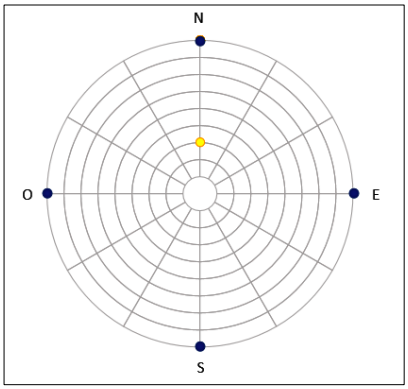

FIGURA 4. Gráfico polar diseñado para representar el acimut y la altura del Sol. La posición central es el cenit (altura 90°) y el círculo mayor es el horizonte local (altura 0°). Se presenta un punto de ejemplo correspondiente a acimut 0° (mediodía solar) y altura 60°.

Luego de tener todas las medidas obtenidas representadas, se plantea la realización de una clase sincrónica con el fin de explicar el modo de interpretación del gráfico y de analizar si todas las mediciones son coherentes entre sí. Esto permitirá identificar si se cometió algún error de medición a partir de observar si hay algunos datos muy alejados del resto. A continuación se propondrá a los estudiantes que indiquen cómo sería un modelo concreto en forma de maqueta (con una base y un alambre) que represente la trayectoria solar media de todas las mediciones llevadas a cabo (figura 6). Para ello se utiliza el *software* libre Stellarium (*www.stellarium.org*), el cual permite mostrar cómo se

produce el movimiento diario del Sol en la fecha en que se realizaron las mediciones, lo que fue observado sólo en forma parcial por cada estudiante. Posteriormente, se utiliza el mismo *software* para visualizar los cambios en la trayectoria diaria del Sol a lo largo del año. Estas diferencias anuales se representarán en el modelo concreto ya realizado incorporando tres alambres adicionales correspondientes a las trayectorias del Sol en fechas de equinoccios y solsticios. A continuación, se analiza cómo quedarían representadas estas tres trayectorias en el gráfico polar y cómo cambiarían las mismas al cambiar de ubicación el observador.

Como cierre de la clase, se entrega un material explicativo sobre el movimiento diario y anual del Sol, y de su relación con los fenómenos del día y la noche y las estaciones del año, con algunas actividades para resolver a partir de lo desarrollado. La corrección de las mismas y la realización posterior de un test de respuestas múltiples utilizando un formulario virtual permitió evaluar los conocimientos adquiridos por los estudiantes y la eficacia de la propuesta y del recurso gráfico desarrollado.

IV. METODOLOGÍA

Como etapa inicial de evaluación de la secuencia de enseñanza, y del recurso gráfico incluido en ella, se llevó a cabo un primer proceso de implementación con el fin de extraer conclusiones y modificaciones a futuro. El estudio llevado a cabo se incluye dentro de un marco de investigación cualitativa debido a que el mismo no pretende corroborar teorías ni extender generalizaciones; por el contrario, se pone el acento en la búsqueda de interpretaciones y asignación de significados dentro de un contexto particular (Bryman, 2004). En este sentido, se buscó conocer el impacto que posee la inclusión de una representación gráfica polar dentro de una secuencia diseñada desde un punto de vista topocéntrico para la comprensión del movimiento diario y anual del Sol en el cielo.

En esta primera etapa de prueba participó un curso de cuarto año de nivel secundario perteneciente a una escuela de la ciudad de Buenos Aires, Argentina. El curso estaba compuesto por 13 estudiantes de entre 16 y 17 años, de los cuales 6 eran mujeres y 7 eran varones.

Con el fin de realizar la evaluación de la secuencia se fotografiaron los trabajos llevados a cabo por los estudiantes y se registraron en formato de audio las clases sincrónicas. A su vez, se realizó un análisis de las respuestas dadas en el test final de respuestas múltiples. Esto permitió elaborar conclusiones respecto a la propuesta elaborada y plantear opciones de continuidad al proceso de investigación iniciado con relación a la utilidad de la representación gráfica diseñada para la modelización del movimiento del Sol en el cielo.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Durante el proceso de implementación, los 13 estudiantes lograron cumplir de manera satisfactoria con las tareas propuestas realizando las mediciones solicitadas, completando los datos en la planilla de cálculo, enviando las actividades resueltas y llevando a cabo el test final online de opciones múltiples. De este modo, se obtuvo un primer gráfico polar con 56 valores medidos, el cual pudo ser analizado en forma conjunta con los estudiantes (figura 5).

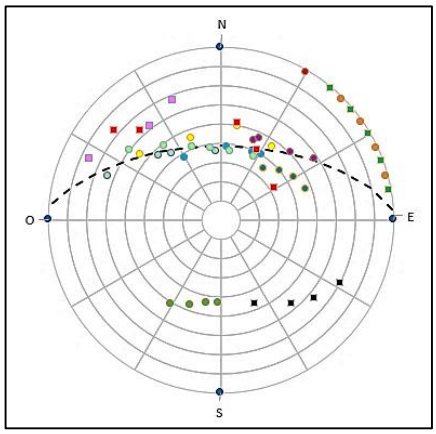

FIGURA 5: Gráfico polar construido con la planilla de cálculo a partir de los valores de acimut y altura del Sol medidos por los diferentes estudiantes (diferenciados por color y forma). En línea punteada se muestra la trayectoria solar correspondiente al día medio del período de medición, trazada a partir de datos obtenidos con el simulador del cielo Stellarium.

Durante la clase sincrónica posterior, los estudiantes pudieron observar todos los puntos medidos y, en función de ello, identificar cuáles podrían estar desviados del promedio debido a errores cometidos durante el proceso de medición. De esta forma, lograron distinguir que los valores con acimut hacia el sur (círculos verdes y cuadrados negros) no parecen seguir el mismo comportamiento que los demás puntos. De esta forma, los dos estudiantes involucrados en estas mediciones lograron darse cuenta que habían colocado al revés el círculo graduado (con 0° hacia el norte). Por su parte, los tres estudiantes que midieron valores que indican una altura baja del Sol todo el tiempo (círculos naranjas y rojos y cuadrados verdes), manifestaron que tuvieron problemas al utilizar la calculadora para determinar la altura del Sol. En función de ello, se decidió corregir el acimut en las dos mediciones indicadas hacia el sur y descartar las que no indicaban correctamente la altura solar. De esta forma se pudo trazar el recorrido medio entre los valores medidos y representar el recorrido diario del Sol mediante un modelo concreto (figura 6).

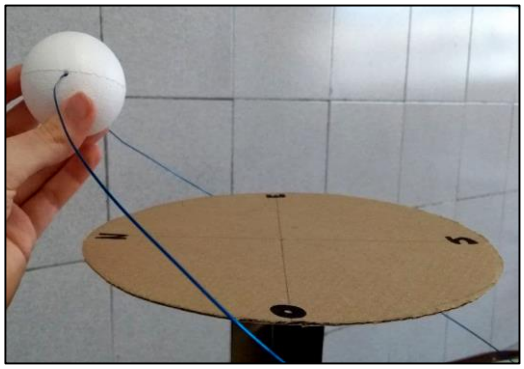

FIGURA 6: Modelo concreto que representa la trayectoria diaria del Sol construida a partir de las mediciones realizadas por los estudiantes desde sus casas presentadas previamente en el gráfico polar.

En la figura anterior se representa en forma aproximada la trayectoria media de los valores medidos presentes en la figura 5. Los mismos indican que en los días de realización de las mediciones (del 1 al 10 de abril), el Sol se posiciona a unos 50° de altura en el mediodía solar y que su salida y puesta ocurren al norte del este y del oeste, respectivamente. Esto es coherente con lo que se observa en la ciudad de Buenos Aires entre esas fechas por lo que, más allá de las incertezas experimentales, los resultados obtenidos pueden considerarse válidos y acordes al proceso de medición planteado, permitiendo la construcción de dos modelos del movimiento solar con características diferentes. Por un lado, el modelo abstracto representado en el gráfico polar, que permite desarrollar con los estudiantes aspectos relevantes del trabajo científico, tales como la relación con el estudio de los fenómenos del mundo natural, la necesidad de realizar mediciones y de tener en cuenta las incertezas en dicho proceso, la utilización de representaciones gráficas y el análisis de las mismas para validar, corregir o cuestionar los datos obtenidos. A partir de este modelo abstracto, es posible construir un modelo concreto que represente visualmente el fenómeno físico y que permita una mayor comprensión del mismo al posibilitar el uso de razonamientos basados en cambios observables en el fenómeno, simulando lo que podría visualizarse en el cielo en forma directa. Este modelo concreto del movimiento diario del Sol, y su versión posterior con el agregado de las trayectorias correspondientes a equinoccios y solsticios, permitieron presentar a los estudiantes la explicación del día y la noche y las estaciones del año.

Por su parte, el análisis de los diálogos mantenidos en los encuentros sincrónicos y los resultados de un test en línea realizado por los estudiantes indican una cierta comprensión de la representación gráfica utilizada y, principalmente, de cómo ocurre el movimiento diario y anual que realiza el Sol en el cielo. En este sentido, todos los estudiantes pudieron responder correctamente las preguntas relacionadas con la trayectoria diaria del Sol y su variación a lo largo del año, aunque 3 de ellos (23,1 %) mostraron dificultades al tener que interpretar el gráfico polar (pregunta 5). Pese al limitado tiempo dedicado a la secuencia, y a que la misma se desarrolló en condiciones de no presencialidad, los resultados obtenidos parecen indicar que la propuesta planteada favorece los aprendizajes de los estudiantes. A continuación se esbozan una serie de conclusiones del proceso llevado a cabo con el fin de producir algunas modificaciones en la secuencia diseñada para futuras implementaciones.

VI. CONCLUSIONES

Dado que la mayor parte de los materiales presentes en los libros de texto escolares priorizan el punto de vista heliocéntrico que propone la explicación de los fenómenos astronómicos cotidianos a partir del movimiento de los astros en el espacio exterior, resulta relevante el aporte de propuestas de enseñanza que ayuden a la construcción de explicaciones de dichos fenómenos desde la perspectiva topocéntrica, así como su puesta a prueba en el aula. Al

respecto, la secuencia aquí presentada y el gráfico polar asociado al uso de la planilla de cálculo, han resultado eficaces para lograr que los estudiantes avancen en la construcción de un modelo topocéntrico descriptivo de los movimientos del Sol en el cielo y, a su vez, explicativo de los fenómenos del día y la noche y las estaciones del año.

La propuesta desarrollada posee la ventaja de poder ser realizada desde la vivienda de cada estudiante, lo que la vuelve interesante en épocas de no presencialidad escolar. A su vez, la misma propone una actividad experimental que pone a los estudiantes en contacto con su entorno celeste por medio de recursos materiales de bajo costo y utilizando un recurso tecnológico como la planilla de cálculo que hoy en día se encuentra presente en la gran mayoría de los hogares. En este sentido, su uso se encuentra facilitado dentro de la secuencia ya que la obtención del gráfico polar no requiere conocimientos en cuanto al manejo del *software* por parte de los estudiantes.

La secuencia fue diseñada con el fin de poder estudiar de manera colaborativa el movimiento diario del Sol en el cielo, un fenómeno natural que puede ser observado desde lugares diferentes e intervalos de tiempo distintos. Pese a que dicho movimiento posee características locales, se consideró que estas variaciones no serían sustanciales en el caso que los observadores se encuentren cercanos entre sí y que no transcurran muchos días entre las mediciones de los estudiantes. Los resultados hallados durante la implementación son consistentes con esta consideración.

Para mejorar el proceso de medición llevado a cabo, y dado que los lugares de observación no pueden ser modificados, se considera conveniente utilizar un gnomon con una altura mayor y acotar el período para llevar a cabo la actividad experimental, intentando que se realice en un lapso de no más de 5 días. A su vez, sería indicado dividir al grupo de estudiantes estipulando previamente la franja horaria en que medirá cada uno con el fin de que haya más registros al comienzo y al final del día. Por ejemplo: de 8:30 h a 11:30 h, de 11:30 h a 14:30 h y de 14:30 h a 17:30 h. Por último, sería beneficioso generar un tutorial en formato de video que los estudiantes puedan consultar al momento de tener que llevar a cabo la experiencia sin la compañía del docente.

Como se ha visto, la posibilidad de realizar mediciones desde distintas ubicaciones espacio - temporales se transforma en una necesidad cuando se establecen medidas de no presencialidad escolar debido a, por ejemplo, una pandemia. Sin embargo, la posibilidad de construir la trayectoria solar a partir de mediciones individuales puede resultar útil y valiosa incluso por afuera de este contexto. Por ejemplo, si la escuela no cuenta con un patio donde incida el Sol en el horario de clase o como actividad extraescolar en períodos normales de clases presenciales.

La propuesta elaborada brinda la posibilidad de discutir sobre la naturaleza colaborativa del accionar científico, lo cual resulta valorable para la construcción de un modelo de ciencia escolar. De la misma manera, permite poner en juego una mirada sobre los datos como elementos que permiten describir una situación a analizar, más que como datos absolutos de la realidad, lo cual ayuda a la construcción de una imagen adecuada de la ciencia.

La inclusión de una representación polar permitió unificar en una gráfica los valores de acimut y altura del Sol para ser comparados entre sí, pero abre una nueva complejidad asociada a la capacidad de los estudiantes de vincular los elementos de esta nueva representación con el cielo observable. La lectura e interpretación del gráfico y de su utilización para la descripción del movimiento solar desde la perspectiva topocéntrica representa un enfoque promisorio que merece ser abordado con más detenimiento a futuro.

REFERENCIAS

Alvarez, M., Galperin, D. y Quinteros, C. (2018). Indagación de las concepciones de estudiantes primarios y secundarios sobre los fenómenos astronómicos cotidianos. En Papini, M. y Sica, F. (comp.), *Las ciencias de la naturaleza y la matemática en el aula: nuevos desafíos y paradigmas*, 129-142. Tandil: UNICEN.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 40-49.

Baker, J. y Sugden, S. (2003). Spreadsheets in education - The first 25 years. *Spreadsheets in Education (eJSiE)*, 1(1), 18-43.

Baxter, J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, 11(5), 502-513. https://doi.org/10.1080/0950069890110503

Beare, R. (1993). How spreadsheets can aid a variety of mathematical learning activities from primary to tertiary level. En Burton, L. y Jaworski, B. (Ed.), *Technology in Mathematics Teaching: A Bridge Between Teaching and Learning*, 117-124. Birmingham, U.K.: University of Birmingham.

Benacka, J. (2016). Numerical modelling with spreadsheets as a means to promote STEM to High School students. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(4), 947-964. http://dx.doi.org/10.12973/eurasia.2016.1236a

Black, A. (2005). Spatial ability and Earth science conceptual understanding. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 402-414. http://dx.doi.org/10.5408/1089-9995-53.4.402

Boilevin, J. (2000). *Conception et analyse du fonctionnement d'un dispositif de formation initiale d'enseignants de physique-chimie utilisant des savoirs issus de la recherche en didactique: un modèle d'activité et des cadres d'analyse des interactions en classe* (Tesis doctoral). Université de Provence.

Bryman, A. (2004). *Social research methods. 2nd. Edition*. New York: Oxford University Press.

Chiras, A. y Valanides, N. (2008). Day/night cycle: mental models of primary school children. *Science Education International*, 19(1), 65-83.

Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 9 (22), 1041-1053. http://dx.doi.org/10.1080/095006900416901

Esquembre, F. (2004). *Creación de simulaciones interactivas en Java: aplicación a la enseñanza de la Física*. Madrid: Pearson.

Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las ciencias*, 19(2), 231-242.

Galperin, D. (2011). Propuestas didácticas para la enseñanza de la Astronomía. En Insaurralde, M. (coord.), *Ciencias Naturales. Líneas de acción didáctica y perspectivas epistemológicas*, 189-229. Buenos Aires: Novedades Educativas.

Galperin, D. (2016). *Sistemas de referencia y enseñanza de las ciencias: el caso de los fenómenos astronómicos cotidianos* (Tesis doctoral). Tandil: UNICEN.

Galperin, D. y Raviolo, A. (2014). Sistemas de referencia en la enseñanza de la Astronomía. Un análisis a partir de una revisión bibliográfica. *Latin American Journal of Physics Education*, 8(1), 136-148.

Galperin D., Alvarez, M., Heredia, L. y Haramina, J. (2020). Análisis de videos educativos y de divulgación sobre día/noche, estaciones y fases lunares. *Revista Enseñanza de la Física*, 32(no. extra), 125-133.

Gilbert, J., Boulter, C. y Rutherford, M. (2000). Explanations with models in science education. En Gilbert, J. y Boulter, C. (eds.), *Developing models in science education, 193-208*. Dordrecht: Kluwer. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1

Guglielmino, R. (1989). Using spreadsheets in an introductory physics lab. *The Physics Teacher*, 27(3), 175-178. http://dx.doi.org/10.1119/1.2342709

Jiménez Liso, R., López-Gay, R. y Martínez Chico, M. (2012). Cómo trabajar en el aula los criterios para aceptar o rechazar modelos científicos. ¿Tirar piedras contra nuestro propio tejado? *Alambique*, 72, 47-54.

Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lanciano, N. (1989). Ver y hablar como Tolomeo y pensar como Copérnico. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 173-182.

Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, 2(4), 5-13.

López-Gay, R., Jiménez Liso, M., Osuna, L. y Martínez Torregrosa, J. (2009). El aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Una oportunidad para la formación de maestros. *Alambique*, 61, 27-37.

Ortega, Z., Medellín, A. y Martínez, J. (2010). Influencia en el aprendizaje de los alumnos usando simuladores de física. *Latin American Journal of Physics Education*, 4 (Suppl. 1), 953-956.

Parker J. y Heywood D. (1998). The earth and beyond: developing primary teachers' understanding of basic astronomical events. *International Journal of Science Education*, 20(5), 503-520. http://dx.doi.org/10.1080/0950069980200501

Plummer, J., Wasko, K. y Slagle, C. (2011). Children learning to explain daily celestial motion: Understanding astronomy across moving frames of reference. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1963-1992. https://doi.org/10.1080/09500693.2010.537707

Plummer, J., Kocareli, A., Slagle, C. (2014). Learning to explain astronomy across moving frames of reference: Exploring the role of classroom and planetarium-based instructional contexts. *International Journal of Science Education*, 36(7), 1083-1106. http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2013.843211

Raviolo, A. (2002). Hojas de cálculo en clases de ciencias. *Revista de Educación en Ciencias*, 3(2), 100-102.

Raviolo, A. (2019). Imágenes y enseñanza de la Química. Aportes de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia. *Educación Química*, 30(2), 114-128.

Raviolo, A., Alvarez, M. y Aguilar, A. (2011). La hoja de cálculo en la enseñanza de la Física: re-creando simulaciones. *Revista de Enseñanza de la Física*, 24(1), 97-107.

Shen, J. y Confrey, J. (2010). Justifying Alternative Models in Learning Astronomy: A study of K-8 science teacher´s understanding of frames of reference. *International Journal of Science Education*, 32(1), 1-29. http://dx.doi.org/10.1080/09500690802412449

Schoon, K. (1992). Students alternative conceptions of Earth and space. *Journal of Geological Education*, 40(3), 209-214. http://dx.doi.org/10.5408/0022-1368-40.3.209

Trumper, R. (2001). Assessing students' basic astronomy conceptions from junior high school through university. *Australian Science Teachers Journal*, 47(1), 21–31.