

Sistemas de referencia en la enseñanza de la Astronomía. Un análisis a partir de una revisión bibliográfica



Diego Galperin, Andrés Raviolo

Sede Andina, Universidad Nacional de Río Negro, Mitre 630, C. P. 8400, Bariloche, Argentina.

E-mail: dgalperin@unrn.edu.ar

(Recibido el 9 de Diciembre de 2013; aceptado el 21 de Marzo de 2014)

Resumen

Se presenta el resultado de un proceso de revisión bibliográfica centrado en identificar cuáles son los sistemas de referencia astronómicos que utilizan los investigadores, tanto implícita como explícitamente, cuando intentan averiguar y categorizar las concepciones de los alumnos y docentes en relación a la comprensión de los fenómenos astronómicos más cotidianos (día y noche, estaciones del año y fases de la Luna) y cuando proponen secuencias de enseñanza acerca de dichos fenómenos. Las conclusiones obtenidas muestran un predominio de artículos en los cuales los fenómenos celestes son desarrollados desde un sistema de referencia externo a la Tierra, sin hacer mención a la posibilidad de describirlos y explicarlos adecuadamente desde un sistema posicionado en la superficie terrestre. Esto pone de manifiesto la necesidad de explicitar y justificar con claridad el sistema de referencia que será utilizado al llevar adelante investigaciones en esta temática.

Palabras clave: Revisión bibliográfica, Investigaciones, Sistemas de referencia, Astronomía.

Abstract

We present the results of a bibliographical review process focused on identifying which astronomical frames of reference are used by researchers, implicitly or explicitly, when inquiring into and categorizing students' and teachers' conceptions of certain well known astronomical phenomena (day and night, seasons, and phases of the moon) and when they propose teaching sequences of this topic. The results obtained show a predominance of articles in which these phenomena are developed from a frame of reference external to the Earth, without mentioning the possibility of describing and explaining them from a terrestrial frame of reference. This evidences the need to explain and justify the reference frame used when carrying out research in this area.

Keywords: Bibliographical review, Researches, Frames of reference, Astronomy.

PACS: 01.40.E-, 01.40.Fk, 01.40.gb

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de revisión bibliográfica es parte de una investigación en desarrollo que estudia los procesos relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de conocimientos relativos a los fenómenos astronómicos cotidianos. En este sentido, existe una gran cantidad de investigaciones realizadas que muestran las dificultades presentes en estudiantes de todos los niveles educativos, y en docentes, para comprender las causas de los fenómenos astronómicos más cotidianos: el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Estas dificultades pueden tener diferentes orígenes, aunque en este trabajo nos hemos centrado en uno solo de ellos: la elección del sistema de referencia más adecuado para describir y comprender dichos fenómenos astronómicos.

Nos hemos planteado tres preguntas como parte de la investigación:

1. ¿Cuáles son los sistemas de referencia astronómicos que se utilizan (tanto explícita como implícitamente) al intentar describir y explicar los fenómenos celestes más cotidianos en el contexto escolar?
2. ¿Existe alguna razón para privilegiar un sistema de referencia por sobre otro?
3. ¿La elección de un sistema de referencia determinado puede ser una de las causas de las dificultades detectadas en alumnos de todos los niveles en relación a la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos?

En este artículo nos centraremos en la primera de estas preguntas focalizando la atención en las investigaciones que se llevan a cabo con el fin de indagar acerca del aprendizaje y la enseñanza de algunos fenómenos posibles de ser

observados a simple vista en el cielo: día y noche, estaciones del año y fases lunares. Se parte de la sospecha de que existe un amplio predominio de investigaciones en las cuales los fenómenos astronómicos son desarrollados desde un sistema de referencia externo a la Tierra, sin hacer mención a la posibilidad de describir y explicar estos mismos fenómenos desde un sistema de referencia terrestre que valore la observación directa y el contacto con el cielo real [18].

Consideramos que esta perspectiva, la utilización adecuada de los sistemas de referencia, es central para la comprensión de las dificultades presentes en la enseñanza de estos fenómenos y será relevante para la investigación futura acerca del modo más adecuado de enseñar Astronomía en los distintos niveles educativos.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

A. Sistemas de referencia

La elección de un sistema de referencia adecuado es un tema crucial para el análisis y la comprensión de los fenómenos físicos ya que éstos no ocurren igual en todos los sistemas y, en consecuencia, cobra gran relevancia el proceso de decisión acerca de cuál elegir con el fin de lograr que los fenómenos de la naturaleza aparezcan en él de la forma más simple [19]. Al respecto, el principio de relatividad del movimiento sostiene que cada observador puede elegir el sistema de referencia que prefiera ya que carece de sentido hablar de movimiento absoluto de un cuerpo debido a que sólo podemos referirnos a la posición o el desplazamiento de un objeto en relación a otro. A su vez, el poder definir a la posición como una magnitud física implica reducir un cuerpo a un punto y comprender que este punto equivale a su lugar espacial. De este modo, el sistema de referencia puede definirse como el conjunto de cuerpos que convencionalmente se consideran inmóviles y con respecto a los cuales se analiza y mide el movimiento de otros objetos.

Dado que el sistema de referencia puede ser elegido arbitrariamente, queda claro que la descripción del movimiento de un cuerpo será diferente en función de la elección que se realice. Si el sistema de referencia se encuentra en el mismo objeto a analizar, éste se hallará en reposo respecto al sistema elegido pero se encontrará en movimiento respecto a otros posibles sistemas de referencia. A su vez, esto implica que el mismo cuerpo se moverá diferente, siguiendo distintas trayectorias en los distintos sistemas.

Como vemos, el concepto de sistema de referencia presenta cierta complejidad conceptual, por lo que debe ser desarrollado y enseñado explícitamente en las clases de Física. Esto queda en evidencia dado que los alumnos de entre 9 y 16 años suelen describir la posición que ocupa un cuerpo respecto a otro sin referirla a ningún sistema de referencia explícito, estableciendo únicamente una relación lineal directa entre el observador y el cuerpo o entre dos cuerpos [20]. A su vez, los estudiantes muestran una tendencia a definir el movimiento como algo intrínseco al cuerpo y no como algo en relación a un sistema de referencia

específico, lo que provoca que movimiento y reposo sean considerados substancialmente inequivalentes [21]. En este sentido, se encuentra muy presente la idea acerca de la existencia de un sistema de referencia absoluto, basado en los cambios en la posición de un cuerpo en relación al espacio mismo, y que todas las descripciones realizadas desde otros sistemas deberían ser transformadas a éste. Esta preferencia de los estudiantes, incluso los universitarios, por un espacio o sistema de referencia absoluto no llama la atención si se tiene en cuenta que en la vida cotidiana solemos aceptar implícitamente la existencia de tales sistemas (el suelo, por ejemplo) [22].

Por su parte, entre los distintos sistemas posibles existen ciertas ventajas de los llamados “sistemas de referencia inerciales”, que son aquellos en los cuales el sistema se encuentra ligado a un cuerpo que se desplaza a velocidad constante. En estos sistemas, los fenómenos físicos ocurren de la misma manera y las leyes de la naturaleza poseen la misma forma, lo que provoca que sean indistinguibles entre sí. En contraposición, las leyes físicas se enuncian de distinta manera en los diferentes sistemas acelerados o “no inerciales”, proponiendo el agregado de fuerzas adicionales o “inerciales”, por lo cual es natural que los fenómenos físicos se intente estudiarlos, la mayoría de las veces, con mayor o menor grado de precisión, desde sistemas de referencia inerciales.

B. Sistemas de referencia astronómicos

En el caso de los fenómenos astronómicos, se torna imposible definir un sistema de referencia que sea estrictamente inercial ya que nos encontramos en un planeta en continua rotación y con continuas aceleraciones, lo cual sucede de igual manera si deseamos centrar nuestro sistema en el Sol. Sin embargo, dado el lento cambio en la dirección de las velocidades de los movimientos de rotación y traslación, un sistema de referencia posicionado en un punto de la superficie terrestre puede ser considerado inercial, con un muy pequeño margen de error, para la gran mayoría de las experiencias cotidianas.

Por otra parte, dadas las enormes dimensiones que presenta el universo, la posición de un astro suele indicarse en función de la dirección espacial hacia la que se deben apuntar los ojos (o un instrumento óptico) para poder observarlo. En función de esto, resulta muy conveniente utilizar la idea de “esfera celeste”, pensándola como una esfera de radio arbitrario sobre la que se encuentran proyectados todos los astros y cuyo centro se encuentra en un punto determinado del espacio. De este modo se pueden establecer distintos sistemas de referencia en función del origen elegido para dicha esfera. En este caso donde analizaremos los fenómenos astronómicos cotidianos, es conveniente situar el origen del sistema en alguno de los siguientes puntos: un lugar sobre la superficie terrestre (sistema de referencia “topocéntrico”), el centro de masas de la Tierra (sistema de referencia “geocéntrico”) o el centro de masas del Sistema Solar (sistema de referencia “heliocéntrico”) [23].

En la Tabla I se indican las características de tres sistemas de coordenadas astronómicas muy utilizados, cada uno de los cuales posee su origen en un punto distinto del espacio. Para complementar la caracterización de cada uno de ellos se indica un plano y un punto fundamental para la medición de los ángulos y el nombre de las correspondientes coordenadas astronómicas.

TABLA I. Características de tres sistemas de coordenadas astronómicas.

Origen	Ubicación centro de la esfera celeste	Nombre del sistema	Plano fundamental	Coordenadas
Topocéntrico	Superficie terrestre	Horizontal o Altacimutal	Horizonte del observador	Acimut y altura
Geocéntrico	Centro de masas de la Tierra	Ecuatorial absoluto	Ecuador celeste	Ascensión recta y declinación
Heliocéntrico	Centro de masas del Sistema Solar	Heliocéntrico	Eclíptica	Longitud y latitud heliocéntricas

III. METODOLOGÍA

El trabajo de revisión bibliográfica realizado consistió en la lectura minuciosa de cada artículo y su análisis teniendo en cuenta frases que hicieran referencia a un determinado sistema de referencia, tanto en forma explícita como implícita. De este modo, cada artículo fue clasificado en función de utilizar un sistema de referencia centrado en el Sol, centrado en la Tierra o en ambos simultáneamente. A su vez, se identificó el o los niveles educativos que estaban siendo mencionados en cada trabajo: alumnos y docentes de nivel primario, alumnos y docentes de nivel medio, alumnos y docentes de carreras de formación docente o alumnos de carreras de nivel superior en general. Por último, se realizó un sencillo análisis cuantitativo de la relación entre los sistemas de referencia utilizados y el nivel destino de los trabajos analizados de modo tal de poder extraer conclusiones en relación a la utilización de los distintos sistemas de referencia astronómicos al momento de plantear investigaciones y propuestas didácticas en relación a la temática.

A. Muestra

Se analizaron 50 artículos sobre la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos por parte de estudiantes y docentes, correspondientes a revistas especializadas y a libros sobre enseñanza de las ciencias publicados en las últimas tres décadas. El listado de los artículos coincide con el presente en las referencias bibliográficas, salvo algunos

que no formaron parte del análisis llevado a cabo: [2, 3, 4, 9, 12, 17, 19, 20, 21, 22, 23].

B. Clasificación de los artículos

A partir de lo mencionado anteriormente sobre sistemas de referencia astronómicos, los artículos han sido categorizados en:

a) Heliocéntricos (He): aquellos que brindan explicaciones y descripciones utilizando un sistema de referencia externo a la Tierra. Esta categoría incluye la subcategoría “Heliocéntrico observacional” (He obs), que corresponde a artículos que, a su vez, sostienen la necesidad de relacionar dichas explicaciones y descripciones “heliocéntricas” con lo que se observa desde la superficie terrestre.

b) Terrestres (Te): brindan descripciones y explicaciones utilizando un sistema de referencia centrado en la Tierra. Esta categoría incluye las subcategorías “Geocéntrico” (Geo), donde el sistema de referencia se encuentra centrado en el centro de masas de la Tierra, y “Topocéntrico” (To), en la cual el sistema de referencia tiene su origen en un punto de la superficie terrestre.

a) Dual (Du): se utilizan descripciones y explicaciones del movimiento de los astros en el cielo vistos desde la superficie terrestre, haciendo referencia a que estos movimientos pueden explicarse de igual modo desde un sistema de referencia externo a la Tierra. Esto implica que estos artículos indican explícitamente la posibilidad de utilizar adecuadamente un sistema de referencia externo (He) o uno terrestre (Te), en sintonía con lo que postula el principio de relatividad del movimiento.

C. Frases que identifican sistemas de referencia

A continuación se presentan algunas citas extraídas de los artículos analizados que han permitido su categorización. Se considera que este tipo de frases hacen posible identificar desde qué sistema de referencia se encuentran desarrollados los fenómenos astronómicos que se estudian en cada trabajo.

- **C.1. Sistema de referencia “Heliocéntrico” (He)**

“...se les solicitó explicar, con un diagrama o usando una esfera de poliestireno que se les proporcionó, por qué se hace de día y de noche.” [1, p. 504].

“En ningún caso se advierte que [el movimiento del Sol] se trata de un movimiento aparente.” [24, p. 343]

“En este trabajo se estudian las representaciones gráficas y los textos que acompañan a las mismas, realizadas por estudiantes de Magisterio sobre los movimientos de la Tierra y de la Luna y sus consecuencias. Su análisis permite afirmar que hay una falta de comprensión del modelo Sol-Tierra-Luna.” [25, p. 153].

“La conceptualización de las causas de las fases lunares requiere un pensamiento muy complejo. Primero, los alumnos deben saber los movimientos de rotación y revolución de la Luna y la Tierra y sus posiciones relativas al Sol mientras se van moviendo.” [15, p. 12].

“Se le solicita al profesor... que escoja el objeto que mejor representa a la Tierra y lo coloque en un lugar de la sala...”

[luego, sobre el objeto elegido] que coloque un muñeco que represente a una persona en la superficie de Tierra.” [26, p. 802].

C.1.1. Subcategoría: “Heliocéntrico observacional” (He obs)

“Los estudiantes destacaron los siguientes aspectos positivos de la unidad didáctica: - Se contempla la observación de los movimientos aparentes de los astros. - La constante relación realidad observable/ modelo interpretativo.” [27, p. 126].

“...resulta irrelevante que un niño, «sepa» el movimiento de rotación terrestre si no sabe explicar con él la variación de la posición del Sol en el cielo a lo largo de la jornada y la sucesión de los días y las noches.» [28, p. 230].

“...[los estudiantes] respondieron correctamente que en la latitud de Turquía, al norte del Trópico de Cáncer, el Sol nunca está directamente sobre la cabeza al mediodía... La mayoría de los estudiantes... indicaron que la causa de las diferentes estaciones que experimentamos cada año son la inclinación del eje de la Tierra con respecto al plano de su órbita y su giro alrededor del Sol.” [29, p. 19].

• C.2. Sistema de referencia “Terrestre” (Te)

C.2.1. Subcategoría: “Geocéntrico” (Geo)

“Ninguna percepción directa del cuerpo nos hace pensar en el desplazamiento de nuestro planeta sobre el que apoyamos los pies. No hay ninguna razón práctica evidente para hacernos abandonar el modelo de Tolomeo... éste «funciona» estupendamente para explicar y describir lo que se ve cotidianamente.” [18, p. 175].

“Nuestra intención en este capítulo es presentar al sistema geocéntrico como un modelo útil, que sirve para hacer predicciones válidas de los movimientos del Sol, las estrellas y la Luna (y de las fases de esta última) tal como se ven en el cielo a simple vista.” [30, p. 136].

C.2.2. Subcategoría: “Topocéntrico” (To)

“Una observación más atenta y extendida en el tiempo, muestra el movimiento uniforme de la mayor parte de éstas a lo largo del día y del año y el de la luna y algunas de estas «estrellas», respecto a las otras que parecen mantener invariables sus posiciones relativas y permiten su agrupación en imaginarias figuras: las constelaciones...” [31, p. 48]

“...es decir, como el observador (los niños) está ubicado en un determinado punto de la Tierra, todo lo que puede observar debe describirse en primer lugar desde un sistema centrado en el lugar del observador (posición topocéntrica), y entonces se puede hablar con total rigurosidad, de que el Sol sale y se pone...” [32, p. 153]

“Estas actividades han de estar dirigidas a reconocer los astros más importantes que podemos apreciar, a conocer sus nombres y a tratar de determinar cómo éstos modifican sus posiciones a lo largo del tiempo, siempre desde una posición centrada en nuestro propio punto de referencia.” [33, p. 96].

• C.3. Sistema de referencia “Dual” (Du)

“...será a través del citado diálogo entre la realidad y la utilización de los modelos concretos como gradualmente se irán construyendo aprendizajes que incorporen una “perspectiva dual” en el análisis de estos fenómenos: nos referimos a imaginar al mismo tiempo dos perspectivas: la topocéntrica propia de lo netamente vivencial, observacional, y una perspectiva propia del megaspacio, como si estuviéramos observando el sistema “desde afuera.” [34, p. 84].

“...el modelo geocéntrico se refiere a un sistema que es cinemáticamente consistente con el modelo heliocéntrico. Los dos modelos son paralelos: difieren solamente en la preferencia de elección del origen del sistema de referencia.” (35, p. 8).

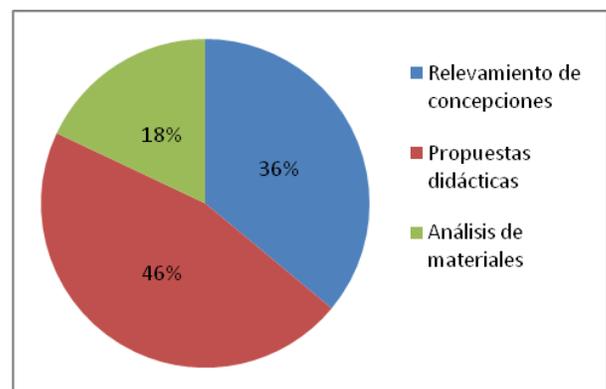
“Los resultados presentados aquí apoyan nuestra afirmación de que los estudiantes necesitan ser guiados en la comprensión de cómo hacer las conexiones entre los movimientos reales de los objetos heliocéntricos y sus consecuencias observables desde una perspectiva con sede en la Tierra.” [36, p. 23].

“La astronomía diurna es de hecho mucho más fácil de aprender, como primer paso, cuando describimos todos los fenómenos desde el sistema de referencia del observador... Sabemos que el arco seguido por el Sol en el cielo local es el efecto resultante (visible) de nuestra propia rotación (la Tierra).” [37, p. 40].

El análisis completo llevado a cabo se encuentra detallado en el Anexo, en el cual se presenta cada artículo, alguna/s cita/s representativa/s del sistema de referencia utilizado en él y la categoría en que fue incluido.

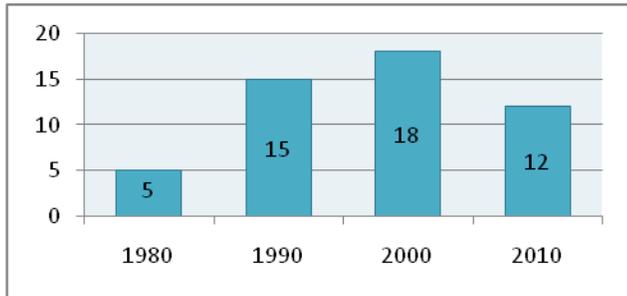
IV. RESULTADOS

De acuerdo a los objetivos formulados en los trabajos analizados, en la Gráfica 1 se aprecia que muchos presentaban propuestas didácticas (46%), otros realizaban una indagación de concepciones sobre los fenómenos astronómicos cotidianos presentes en docentes y alumnos (36%) y algunos otros examinaban materiales curriculares (18%).



GRÁFICA 1. Tipos de artículos analizados.

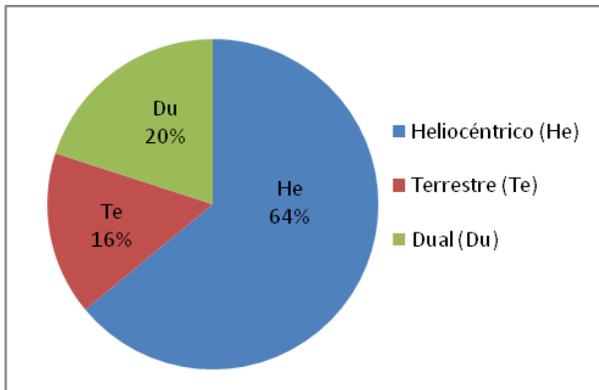
A su vez, en la Gráfica 2 puede apreciarse que 30 trabajos analizados (60% del total) han sido publicados en los últimos 12 años, y 45 en los últimos 20 años (80% del total), dando cuenta de ser una revisión actualizada.



GRÁFICA 2. Cantidad de artículos analizados por década de publicación.

Más allá de haber examinado una muestra acotada, consideramos que podemos afirmar que esta revisión es representativa de una cantidad de trabajos mucho mayor dado que en cada uno de los artículos analizados estaban presentes referencias bibliográficas que se encontraban en sintonía y fundamentaban, en cierto modo, lo planteado en él.

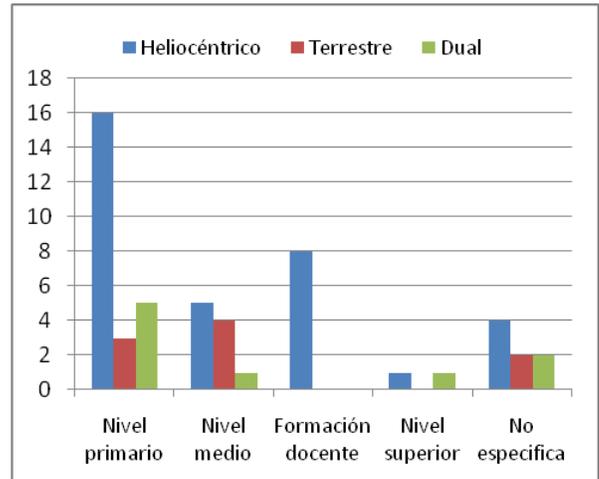
Como se aprecia en la Gráfica 3, del total de artículos analizados (50), 32 de ellos (64%) utilizan un sistema de referencia externo a la Tierra (categoría “Heliocéntrico”), 10 de los trabajos (20%) proponen el uso de un sistema de referencia terrestre para la descripción de los fenómenos observables en el cielo y, simultáneamente, uno externo para la explicación de los mismos (categoría “Dual”) y, por último, 8 artículos (16%) sostienen descripciones y explicaciones desde un punto ubicado en nuestro planeta (categoría “Terrestre”).



GRÁFICA 3. Porcentaje de artículos que utilizan cada sistema de referencia.

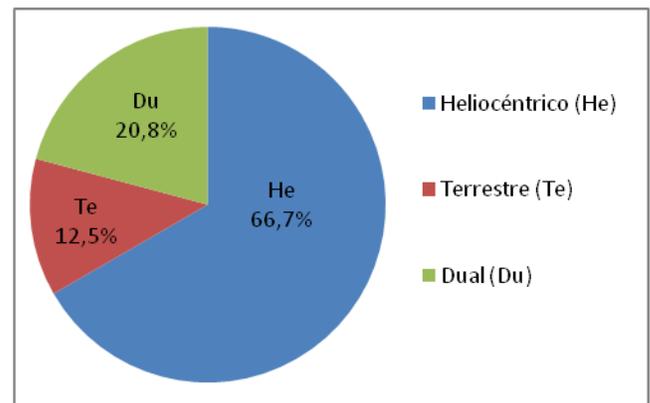
En la Gráfica 4 se presenta un análisis acerca de la categoría en que fue clasificado cada trabajo en función del nivel educativo con el que se relaciona. En este caso, algunos artículos fueron contados más de una vez dado que estaban dirigidos a más de un nivel educativo y se discriminan aquellos que no especifican un nivel educativo en particular.

A su vez, en el nivel superior se diferencian aquellos trabajos relacionados con estudiantes de carreras de formación docente de aquellos vinculados con estudiantes de otras carreras.



GRÁFICA 4. Cantidad de artículos clasificados por categoría y por nivel educativo.

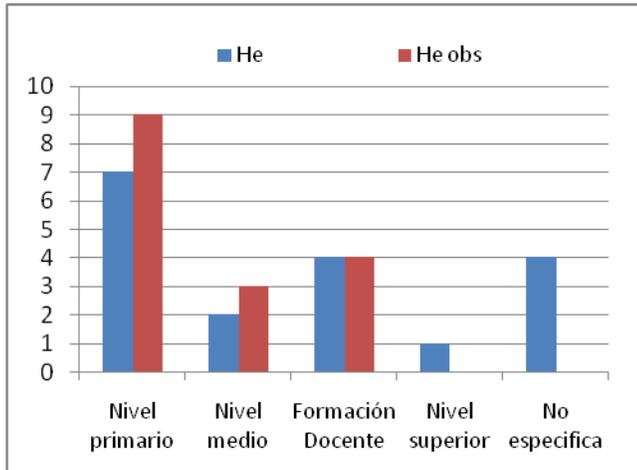
Como puede apreciarse, en prácticamente todos los niveles predominan los trabajos que utilizan el sistema de referencia heliocéntrico, haciéndose mucho más notable esta diferencia en el nivel primario y en la formación docente. Vale aclarar que los artículos categorizados como “duales” involucran también explicaciones “heliocéntricas”, por lo cual la presencia de este último sistema de referencia es sin dudas preponderante en los artículos examinados. Por ejemplo, los 8 trabajos analizados correspondientes a la formación docente presentan un desarrollo “heliocéntrico” de los fenómenos astronómicos tratados. A su vez, de 24 trabajos analizados para el nivel primario, sólo 3 (12,5%) proponen descripciones netamente terrestres (ver Gráfica 5).



GRÁFICA 5. Porcentaje de artículos de nivel primario pertenecientes a cada categoría.

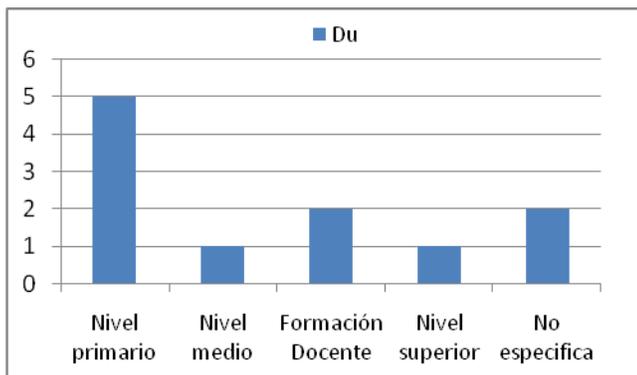
El análisis de los 34 trabajos incluidos en la categoría “Heliocéntrico” se presenta en la Gráfica 6, la cual muestra que prácticamente la mitad de los artículos (47%) manifiestan la necesidad de relacionar las explicaciones

heliocéntricas con lo que puede observarse en el cielo desde la superficie terrestre (subcategoría “Heliocéntrico observacional”). Esta última posición es abordada en una gran proporción de artículos en los cuales se identifica a las observaciones del cielo como una propuesta didáctica motivadora que favorece los aprendizajes. En consecuencia, tanto en el nivel medio como en el primario, la cantidad de trabajos incluidos en la categoría “Heliocéntrico observacional” (He obs) supera a los que no proponen la relación con el cielo cotidiano.



GRÁFICA 6. Cantidad de trabajos que utilizan exclusivamente el sistema de referencia heliocéntrico, clasificados por nivel con el que se relaciona el artículo.

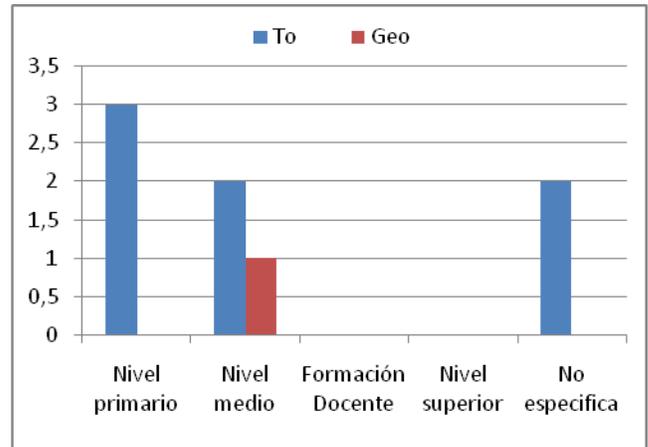
Algunos artículos manifiestan la importancia de enseñar a los estudiantes a moverse entre distintos sistemas de referencia [36, 38]. La Gráfica 7 muestra la presencia de esta categoría “Dual” (Du) en los distintos niveles educativos, la cual se encuentra presente en un 20% de los artículos analizados y, en mayor medida, en trabajos relacionados con el nivel primario.



GRÁFICA 7. Cantidad de trabajos incluidos en la categoría Dual clasificados por nivel.

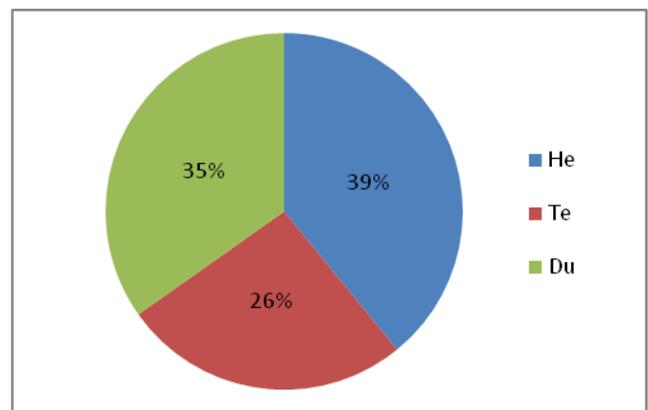
Los sistemas de referencia terrestres (Geocéntrico o Topocéntrico) son poco utilizados en todos los niveles ya que se presentan en sólo el 16% del total de artículos analizados, aunque llama especialmente la atención su nula

presencia en los trabajos vinculados a la formación docente (ver Gráfica 8). Esto puede guardar cierta relación con su escasa utilización en las aulas de nivel primario, en contraposición con el sistema heliocéntrico, de gran presencia en dicho nivel.



GRÁFICA 8. Cantidad de trabajos que utilizan exclusivamente un sistema de referencia terrestre, clasificados por nivel.

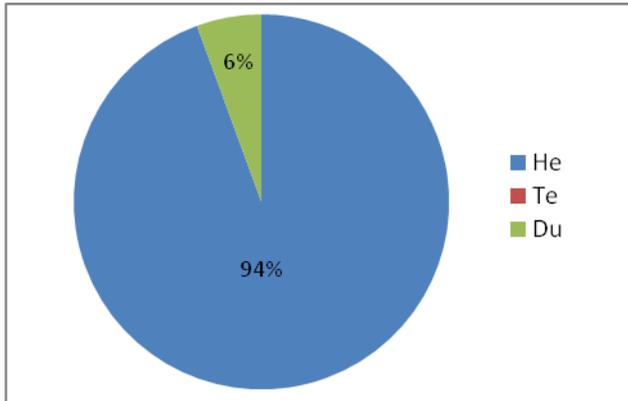
Entre los 50 artículos analizados existe una preponderancia de trabajos que utilizan exclusivamente el sistema de referencia heliocéntrico para explicar los fenómenos astronómicos más cotidianos. Sin embargo, este predominio no se visualiza de igual modo en todos los tipos de artículos. Por ejemplo, como puede verse en la Gráfica 9, entre los 23 trabajos que presentan propuestas didácticas para el aula, este predominio no se visualiza de ninguna manera ya que los porcentajes por categoría se encuentran muy cercanos entre sí: el 39% de los trabajos son “Heliocéntricos”, el 35% presenta un abordaje “Dual”, mientras que un 26% son “Terrestres”.



GRÁFICA 9. Porcentaje de artículos pertenecientes a cada categoría que presentan propuestas didácticas

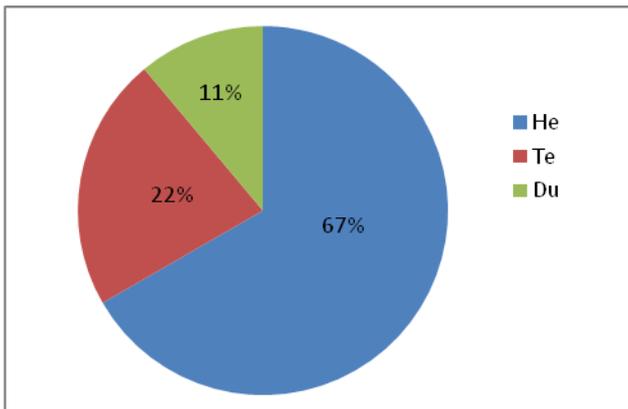
Muy por el contrario, la Gráfica 10 muestra que al analizar los 18 trabajos que relevan concepciones en relación a los fenómenos astronómicos cotidianos tanto de estudiantes como de docentes, se encuentra que en dichos relevamientos predomina ampliamente la utilización del sistema de

referencia heliocéntrico para la explicación de dichos fenómenos. En este caso, 17 artículos pertenecen a la categoría “Heliocéntricos” mientras que sólo uno propone un abordaje “Dual”. Llama la atención que, entre los trabajos analizados, no se encuentren investigaciones centradas en conocer las ideas de estudiantes y docentes en relación a los movimientos de los astros en el cielo posicionados desde un sistema de referencia topocéntrico.



GRÁFICA 10. Porcentaje de artículos que relevan concepciones de estudiantes y docentes, clasificados por categoría.

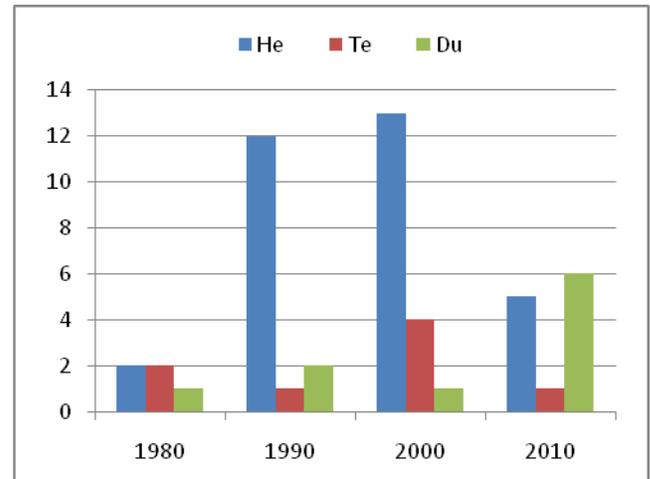
La Gráfica 11 muestra el análisis de los 9 trabajos que examinan materiales curriculares. Aquí se encuentran 6 artículos “Heliocéntricos” (67%), lo que indica un predominio en la utilización de este sistema de referencia. A su vez, 2 de los artículos son “Terrestres” (22%), mientras que sólo 1 fue clasificado como “Dual” (11%).



GRÁFICA 11. Porcentaje de artículos que analizan materiales curriculares, clasificados por categoría.

Por su parte, si analizamos el o los sistemas de referencia utilizados en los trabajos en relación al año de su publicación, encontramos lo sintetizado en la Gráfica 12: que los artículos “Heliocéntricos” son mayoritarios en el período 1990 - 2010, tendencia que se revierte ampliamente en los últimos años, donde la cantidad de artículos “duales” equipara prácticamente a la de “heliocéntricos”. A su vez, se evidencia que la cantidad de trabajos que utilizan un sistema

de referencia exclusivamente “terrestre” disminuye en los últimos años.



GRÁFICA 12. Cantidad de artículos publicados en cada década, clasificados por categoría

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se ha visto, entre los 50 artículos analizados existe una preponderancia de trabajos que utilizan exclusivamente el sistema de referencia heliocéntrico para explicar los fenómenos astronómicos más cotidianos. Al respecto, es interesante notar que los artículos incluidos en la categoría “Heliocéntricos” suelen indicar como “reales” a los movimientos descritos desde el sistema de referencia heliocéntrico, mientras que, en contraposición, caracterizan como “aparentes” a aquellos movimientos descritos desde un sistema de referencia terrestre. Esto último se contradice con el principio de relatividad del movimiento, que expresa que todos los movimientos son “aparentes” ya que dependen del sistema de referencia elegido. Las citas de los artículos [27] y [28] que figuran en el Anexo son un ejemplo de lo aquí expresado.

La muestra de trabajos analizada ha sido elegida sin un criterio específico de selección, lo que le brinda ciertas ventajas y desventajas. Por un lado, las desventajas se relacionan con ser una muestra pequeña en relación a la cantidad de trabajos relacionados con la comprensión de los fenómenos astronómicos cotidianos publicados en los últimos 30 años. Sin embargo, dado que cada trabajo presenta en su bibliografía otros artículos que generalmente refuerzan lo expresado en él, es posible afirmar que el análisis realizado es representativo de una muestra muchísimo mayor a la aquí examinada. A su vez, posee la desventaja de presentar algunos artículos pertenecientes a los mismos autores, lo que provoca que ciertas posturas se vean reforzadas por sobre otras. Sin embargo, puede considerarse que esta “repetición” da cuenta de la dedicación y el compromiso de determinados autores con la investigación en el área, hecho que no queda representado si se decide analizar un artículo por autor.

Por último, las conclusiones que se extraen de este trabajo no intentan ser concluyentes en cuanto a porcentajes y cantidades relativas a la utilización de cada sistema de referencia astronómico. Por el contrario, proponen centrar la mirada en un aspecto didáctico en el cual ha habido escaso desarrollo y del cual se ha investigado escasamente: la influencia de los sistemas de referencia a la hora de generar aprendizajes acerca de los fenómenos astronómicos cotidianos en los estudiantes. En este sentido, la elección de una muestra arbitraria de investigaciones resulta ventajosa ya que pone en evidencia que, sin importar demasiado los artículos analizados, casi con seguridad se encontrará una preponderancia de trabajos “Heliocéntricos”, cuyos autores no especifican desde qué sistema de referencia se encuentran describiendo y explicando los fenómenos astronómicos más cotidianos.

VI. CONCLUSIONES

La elección de un sistema de referencia adecuado para el análisis de un determinado fenómeno físico es central en el trabajo científico cotidiano y, en consecuencia, a la hora de tener que proponer secuencias para la enseñanza de dichos fenómenos. Sin embargo, muchos estudiantes, incluso universitarios, sostienen la existencia de un sistema de referencia, con mayor validez que cualquier otro, en el cual existen objetos en reposo absoluto y en los cuales las leyes de la Física son enunciadas de un modo “correcto”. En este trabajo se ha buscado identificar si esta creencia se manifiesta también en el caso de los fenómenos astronómicos y, particularmente, si se pone de manifiesto o no en los trabajos de investigación.

En función del análisis realizado, se puede evidenciar que en los artículos examinados predomina la utilización del sistema de referencia heliocéntrico para la descripción y explicación de los fenómenos astronómicos posibles de ser observados en el cielo cotidianamente. Dado que la elección de un sistema de referencia determinado responde a cuestiones de utilidad y sencillez, es llamativo que la mayoría de los trabajos no mencionen explícitamente las razones para privilegiar un sistema de referencia por sobre otro. Parecería ser que muchos de los investigadores consideran que las únicas descripciones y explicaciones posibles y válidas de los fenómenos astronómicos son las que se realizan desde un sistema de referencia externo a la Tierra, sin tomar conciencia de que, para muchos de los fenómenos observables desde nuestro planeta, las explicaciones “terrestres” son extremadamente sencillas y potentes desde un punto de vista descriptivo y predictivo [30].

En este sentido, el utilizar descripciones y explicaciones topocéntricas permite poner el acento en la observación a simple vista del cielo, relacionando la Astronomía con lo vivencial y cotidiano para el alumno, y potenciando sus ganas de conocer debido al asombro que provoca la belleza y grandiosidad del firmamento [18]. A su vez, permite que el alumno utilice con total rigurosidad su lenguaje cotidiano ya que, desde su posición, efectivamente “el Sol sale y se

pone”, “la Luna sale cada día más tarde” o “las estrellas giran” [32]. Por lo tanto, sería importante preguntarse qué tan relevante puede ser para la enseñanza de las ciencias que los alumnos “sepan”, por ejemplo, el movimiento de rotación terrestre, si “no saben” explicar la variación de la posición del Sol en el cielo a lo largo del día y de los meses [28].

Por otro lado, pese a la existencia de una gran cantidad de investigaciones que dan cuenta de enormes dificultades por parte de niños, jóvenes y adultos para la comprensión de los fenómenos astronómicos más cotidianos, como el día y la noche, las estaciones del año y las fases de la Luna, no se han detectado trabajos que pongan énfasis en identificar si dichas dificultades pueden guardar alguna relación con el sistema de referencia utilizado a la hora de brindar explicaciones acerca de estos fenómenos.

A su vez, pese a haber encontrado que aproximadamente un cuarto (26%) de los trabajos que proponen propuestas didácticas promueven la enseñanza de los fenómenos astronómicos cotidianos utilizando un sistema de referencia terrestre, esto se ve muy poco reflejado en los trabajos de investigación sobre concepciones alternativas y, sobre todo, en los materiales curriculares presentes en las escuelas.

Esto abre un espacio importante de reflexión en relación a la necesidad de desarrollar, profundizar y explicitar el trabajo con sistemas de referencia, de modo tal que en los artículos sobre enseñanza de la Astronomía comience a indicarse claramente cuál es el sistema de referencia que se está utilizando, sin dar por sentado que hay uno solo posible para explicar un determinado fenómeno. Creemos que el explicitar y justificar el sistema de referencia elegido es un requisito indispensable a la hora de desarrollar investigaciones en esta temática.

REFERENCIAS

- [1] Baxter, J., *Children's understanding of familiar astronomical events*, International Journal of Science Education **11**, 502-513 (1989).
- [2] Nussbaum, J., La tierra como cuerpo cósmico, en Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (Eds.), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia.*, (Morata, Madrid, 1992), pp. 259-290.
- [3] Schoon, K., *Students alternative conceptions of Earth and Space*, Journal of Geological Education **40**, 209 (1992).
- [4] Schoon, K., *The origin and extent of alternative conceptions in the Earth and Space sciences: a survey of pre-service elementary teachers*, Journal of Elementary Science Education **7**, 27-46 (1995).
- [5] Vosniadou, S. and Brewer, W., *Mentals models of the Earth: a study of conceptual change in childhood*, Cognitive Psychology **24**, 535-585 (1992).
- [6] Vosniadou, S. and Brewer, W., *Mentals models of the day/night cycle*, Cognitive Science **18**, 123-183 (1994).
- [7] Camino, N., *Ideas previas y cambio conceptual en astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la Luna*, Enseñanza de las Ciencias **13**, 81-96 (1995).

- [8] Stahly, L., Krockover, G. and Shepardson, D., *Third grade students' ideas about the lunar phases*, Journal of Research in Science Teaching **36**, 159–177 (1999).
- [9] Trumper, R., *A cross-age study of junior high school students' conceptions of basic astronomy concepts*, International Journal of Science Education **23**, 1111-1123 (2001).
- [10] Vega Navarro, A., *Tenerife tiene seguro de Sol (y de Luna): Representaciones del profesorado de primaria acerca del día y la noche*, Enseñanza de las Ciencias **19**, 31-44 (2001).
- [11] Vega Navarro, A., *Ideas, conocimientos y teorías de niños y adultos sobre las relaciones Sol-Tierra-Luna. Estado actual de las investigaciones*, Revista de Educación **342**, 475-500 (2007).
- [12] Trundle, K., Atwood, R. and Christopher, J., *Preservice elementary teachers' conceptions of moon phases before and after instruction*, Journal of Research in Science Education **39**, 633-658 (2002).
- [13] Trundle, K., Atwood, R. and Christopher, J., *Fourth-grade elementary student's conceptions of standards-based lunar concepts*, International Journal of Science Education **29**, 595-616 (2007).
- [14] Chiras, A. and Valanides, N., *Day/night cycle: mental models of primary school children*, Science Education International **19**, 65-83 (2008).
- [15] Bayraktar, S., *Pre-service primary teachers' ideas about lunar phases*, Journal of Turkish Science Education **6**, 12-23 (2009).
- [16] Iglesias, M., Quinteros, C. y Gangui, A., *Indagación llevada a cabo con docentes de primaria en formación sobre temas básicos de Astronomía*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **9**, 467-486 (2010).
- [17] Galperin, D., Raviolo, A., Señorans, L. y Prieto, L., *El día y la noche: dificultades para la comprensión de un fenómeno muy cotidiano*, <<https://www.academia.edu/>>, Consultado el 4 de diciembre de 2013.
- [18] Lanciano, N., *Ver y hablar como Tolomeo y pensar como Copérnico*, Enseñanza de las Ciencias **7**, 173-182 (1989).
- [19] Landau, L., Ajjezer, A. y Lifshitz, E., *Curso de Física General. Mecánica y Física molecular*, (Mir, Moscú, 1973).
- [20] Jiménez Gómez, E. y Guirao Moya, L., *La conceptualización de la posición por los alumnos de 11 a 16 años. Propuesta de dominio de instrucción*, Enseñanza de las Ciencias **25**, 45-58 (2007).
- [21] Saltiel, E. and Malgrange, J., *'Spontaneous' ways of reasoning in elementary kinematics*, European Journal of Physics **1**, 73-80 (1980).
- [22] Driver, R., *Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos*, Enseñanza de las Ciencias **4**, 3-15 (1986).
- [23] Berrocoso, M., Ramírez, M., Enríquez-Salamanca, J. y Pérez-Peña, A., *Notas y apuntes de trigonometría esférica y astronomía de posición*, (Universidad de Cádiz, España, 2003).
- [24] Vega Navarro, A., *Ideas Precopernicanas en nuestros libros de texto*, Revista de Educación **311**, 339-354 (1996).
- [25] Gil Quilez, M. y Martínez Peña, M., *El modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de magisterio*, Enseñanza de las Ciencias **23**, 153–166 (2005).
- [26] Leite, C. y Hosoume, Y., *Explorando a dimensão espacial na pesquisa em ensino de astronomia*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **8**, 797-811 (2009).
- [27] García Barros, S., Martínez Losada, C. y Mondelo, M., *La astronomía en la formación de profesores*, Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales **10**, 121-127 (1996).
- [28] García Barros, S., Martínez Losada, C., Mondelo Alonso, M. y Vega Marcote, P., *La Astronomía en textos escolares de educación primaria*, Enseñanza de las Ciencias **15**, 225-232 (1997).
- [29] Kalkan, H. and Kiroglu, K., *Science and nonscience students' Ideas about basic astronomy concepts in preservice training for elementary school teachers*, Astronomy Education Review **1**, 15-24 (2007).
- [30] Gellon, G., Rosenvasser Feher, E., Furman, M. y Golombek, D., *Los astros celestes: el uso de un modelo*. En *La ciencia en el aula*, (Paidós, Buenos Aires, 2005), pp. 135-149.
- [31] Ten, A. y Monros, M., *Historia y enseñanza de la Astronomía, II. La posición de los cuerpos celestes*, Enseñanza de las Ciencias, 47-56 (1985).
- [32] Camino, N., *Sobre la didáctica de la astronomía y su inserción en EGB*. En Kaufman, M. y Fumagalli, L. (Eds.), *Enseñar ciencias naturales*, (Paidós, Buenos Aires, 1999), pp. 143-173.
- [33] Galperin, D., *Propuestas didácticas para la enseñanza de la Astronomía*. En Insaurralde, M. (Eds.), *Ciencias Naturales. Líneas de acción didáctica y perspectivas epistemológicas*, 189-229 (Novedades Educativas, Buenos Aires, 2011).
- [34] Camino, N., *Aprender a imaginar para comenzar a comprender. Los «modelos concretos» como herramientas para el aprendizaje en astronomía*, Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales **42**, 81-89 (2004).
- [35] Shen, J. and Confrey, J., *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**, 1-29 (2010).
- [36] Plummer, J., Wasko, K. and Slagle, C., *Children learning to explain daily celestial motion: Understanding astronomy across moving frames of reference*, International Journal of Science Education **33**, 1-30 (2011).
- [37] Camino, N. and Gangui, A., *Diurnal astronomy: using sticks and threads to find our latitude on Earth*, The Physics Teacher **50**, 40-41 (2012).
- [38] Jiménez Liso, R., López-Gay, R. y Martínez Chico, M., *Cómo trabajar en el aula los criterios para aceptar o rechazar modelos científicos. ¿Tirar piedras contra nuestro propio tejado?*, Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales **72**, 47-54 (2012).
- [39] Afonso López, R., Bazo González, C., López Hernández, M., Macau Fábrega, M. y Rodríguez Palmero, M., *Una aproximación a las representaciones del alumnado sobre el universo*, Enseñanza de las Ciencias **13**, 327-335 (1995).

- [40] Arribas de Costa, A. y Riviere, V., *La Astronomía en la enseñanza obligatoria*, Enseñanza de las Ciencias **7**, 201-205 (1989).
- [41] Camino, N., *La didáctica de la Astronomía como campo de investigación e innovación educativas*, I Simposio Nacional de Educação em Astronomia, Rio de Janeiro (2011).
- [42] De Manuel Barrabín, J., *¿Por qué hay veranos e inviernos? Representaciones de estudiantes y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra*, Enseñanza de las Ciencias **13**, 227-236 (1995).
- [43] Dicovalsky, E., Iglesias, M., Karaseur, F., Gangui, A., Cabrera, J. y Godoy, E., *El problema de la posición del observador y el movimiento tridimensional en la explicación de las fases de la Luna en docentes de primaria en formación*, III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales, 219-230 (La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata (2012).
- [44] García Barros, S., Mondelo, M. y Martínez Losada, C., *¿Qué vemos en el cielo? Una introducción a la enseñanza de la Astronomía*, Suplemento Aula 44 (Graó Educación, Barcelona, 1995).
- [45] García Barros, S., Mondelo, M., Martínez Losada, C. y Larrosa Cañestro, I., *La observación del cielo. Un instrumento para estudiar el espacio y el tiempo*, Suplemento Aula 51 (Graó Educación, Barcelona, 2003).
- [46] González, R., *La Astronomía y la reforma de la enseñanza*, Enseñanza de las Ciencias **9**, 111-113 (1990).
- [47] Kriner, A., *Las fases de la Luna, ¿cómo y cuándo enseñarlas?*, Ciência & Educação **10**, 111-120 (2004).
- [48] Lanciano, N., *Mirando el cielo: obstáculos conceptuales ante el espacio. Un enfoque transversal, Uno: Revista de Didáctica de las Matemática* **6**, 85-94 (1995).
- [49] Lanciano, N. y Camino, N., *Del ángulo de la geometría a los ángulos en el cielo. Dificultades para la conceptualización de las coordenadas astronómicas acimut y altura*, Enseñanza de las Ciencias **26**, 77-92 (2008).
- [50] Moreno Lorite, M., *A cielo abierto: una experiencia de aprendizaje de astronomía*, Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales **18**, 75-83 (1998).
- [51] Navarro Pastor, M., *Enseñanza y aprendizaje de Astronomía diurna en primaria mediante "secuencias problematizadas" basadas en "mapas evolutivos"*, Enseñanza de las Ciencias **29**, 163-174 (2011).
- [52] Ogan-Bekiroglu, F., *Effects of model-based teaching on pre-service physics teacher's conceptions of the Moon, Moon Phases, and other lunar phenomena*, International Journal of Science Education **29**, 555-593 (2007).
- [53] Olivares Alfonso, J., *Horologium, Uno: Revista de didáctica de las matemáticas* **33**, 89-98 (2003).
- [54] Plummer, J., *Students' Development of astronomy concepts across time*, Astronomy Education Review **1**, 139-148 (2008).
- [55] Plummer, J., Kocareli, A. and Slagle, C., *Learning to explain astronomy across moving frames of reference: Exploring the role of classroom and planetarium-based instructional contexts*, in review.
- [56] Rincón Voelzke, M. y Pereira Gonzaga, E., *Analysis of the astronomical concepts presented by teachers of some Brazilian state*, Journal of Science Education **1**, 23-25 (2013).
- [57] Sneider, C., Bar, B. and Kavanagh, C., *Learning about seasons: A guide for teachers and curriculum developers*, Astronomy Education Review **10**, 1-22 (2011).
- [58] Subramaniam, K. and Padalkar, S., *Visualisation and reasoning in explaining the phases of the Moon*, International Journal of Science Education **31**, 395-417 (2009).
- [59] Ten, A. y Monros, M., *Historia y enseñanza de la Astronomía, I. Los primitivos instrumentos y su utilización pedagógica*, Enseñanza de las Ciencias, 49-56 (1984).
- [60] Vega Navarro, A. y Marrero Acosta, J., *El hechizo de la elipse, Relación Secundaria-Universidad*, Encuentros de Didáctica de las Ciencias **2**, 624-632 (Universidad de La Laguna, La Laguna, 2002).
- [61] Vega Navarro, A., *El día y la noche en los cuentos*, Currículum **16**, 61-73 (2003).

ANEXO

En la Tabla II se presenta el listado de los artículos analizados y la transcripción de algún párrafo que permite clasificarlo en las categorías mencionadas anteriormente. Para abreviar este listado se ha decidido no repetir aquellos trabajos que ya han sido citados en la sección “Frasas que identifican sistemas de referencia”.

TABLA II. Clasificación de los artículos y ejemplo de transcripción representativa. El número de artículo coincide con el que se encuentra en la bibliografía y la segunda columna indica el nivel educativo con el que se relaciona el trabajo: nivel primario (NP), nivel medio (NM), formación docente (FD), adultos en general (AD) o todos los niveles educativos (TOD). La tercera columna especifica el sistema de referencia (S.R.) en que ha sido categorizado: Heliocéntrico (He), Terrestre (Te) o Dual (Du). En algunos casos se presenta directamente la subcategoría en que se lo ha ubicado: Heliocéntrico observacional (He obs), dentro de la categoría Heliocéntrico, o Geocéntrico (Geo)/Topocéntrico (To) dentro de la categoría Terrestre.

Nº	Nivel	S.R.	Cita textual presente en el artículo
[5]	NP	He	“...los niños tienen dificultad en comprender la información de que la Tierra es una esfera enorme, rodeada de espacio. La idea de que vivimos en todo en el exterior de una Tierra esférica es contrario a la intuición y no está de acuerdo con la experiencia cotidiana.” (p. 541)
[6]	NP	He	“Los modelos mentales iniciales no mostraron influencia de la explicación científica actualmente aceptada del ciclo día/noche, mientras que los modelos mentales sintéticos representan los intentos de asimilar las explicaciones científicas a las actuales estructuras conceptuales.” (p. 181) [Aclaración: el artículo toma como “explicación científica aceptada” a la explicación del ciclo día/noche desde el sistema de referencia heliocéntrico]
[7]	NP	He obs	“El día y la noche, las estaciones y las fases serían fenómenos fácilmente explicables, para todos, si pudiéramos tener una perspectiva desde fuera del sistema Tierra-Sol-Luna... la dificultad no radica en los fenómenos en sí mismos sino en que buscamos comprenderlos desde una perspectiva topocéntrica, sin generar herramientas que nos permitan imaginar otros puntos de vista.” (p. 87)
[8]	NP	He	“La lección del tercer día proporciona a los estudiantes experiencias adicionales para investigar las posiciones en el modelo tridimensional Sol-Tierra-Luna. De esta manera, los estudiantes observaron qué pasó con la forma de la Luna vista desde la Tierra cuando cambió la posición de la Luna en relación a la Tierra y al Sol.” (p. 164)
[10]	NP	He	“TAREA 1... Supón que estás en una nave espacial desde la que se puede ver toda la Tierra mirando desde una ventanilla... a) Dibuja la Tierra tal y como piensas que la verías.” (p. 43)
[11]	TOD	He	“...mientras no estemos en condiciones de aceptar que la Tierra es esférica y de entender el concepto de gravedad, solamente tendremos aproximaciones que frecuentemente se interfieren y se mezclan con otros conceptos, dando lugar a una extensa retahíla de ideas alternativas, como muestran los diferentes estudios.” (p. 476)
[13]	NP	He obs	“Para comenzar la instrucción, el observador participante enseñó a 63 chicos y 3 docentes procedimientos para juntar, registrar y compartir observaciones de la Luna. Los chicos y docentes fueron llevados fuera del edificio escolar y orientados según los puntos cardinales usando lugares de referencia de la comunidad.” (p. 602) “Continuando con las actividades con formas y secuencias, los estudiantes participaron en una actividad de modelado psicomotor en una habitación oscura... una esfera de poliestireno sostenida a la longitud del brazo servía como modelo de la Luna; el bulbo incandescente representaba el Sol; y la cabeza de los estudiantes representaba la Tierra.” (p. 604)
[14]	NP	He obs	“...hay algunos prerrequisitos esenciales para la comprensión del ciclo día/noche y su duración: a) la Tierra tiene forma esférica, b) el día/noche es causado exclusivamente por la rotación de la Tierra alrededor de su eje, c) es imposible tener sólo día o noche en la Tierra, d) el eje de la Tierra está inclinado... Las habilidades de los chicos para proceder con observaciones sistemáticas de varios fenómenos astronómicos es una condición básica para la comprensión de distintos conceptos astronómicos porque constituye el primer paso para cualquier generalización para su comprensión.” (p. 75)
[16]	FD	He	“(9) ¿En qué consisten los movimientos de rotación y traslación terrestres? Descríbalos.” (p. 472) “Por su parte, en las respuestas a la pregunta ¿Por qué hay días y noches en la Tierra?... un 63% de las respuestas obtenidas corresponde a la explicación científicamente aceptada.” (p. 479)
[27]	FD	He obs	“Como en el caso anterior los futuros maestros, con ayuda de objetos reales, debían explicar teóricamente las causas de las estaciones... el análisis de los informes presentados por los distintos grupos, nos sirvió para detectar las siguientes ideas... - Consideraron que el cambio de estaciones se debe a la mayor o menor distancia de la Tierra al Sol (91,7%). - No mantuvieron constante la orientación del eje de giro... (58,3%).” (p. 125) “Los estudiantes destacaron los siguientes aspectos positivos de la unidad didáctica: - Se contempla la observación de los movimientos aparentes de los astros. - La constante relación realidad observable/modelo interpretativo.” (p. 126)

[28]	NP	He obs	<p>“Dado que la comprensión de la teoría heliocéntrica no es evidente y encierra importantes dificultades para los alumnos de educación primaria, es necesario que los planteamientos didácticos contemplen: a) la relación entre los movimientos reales de los astros y los aparentes; b) las ideas e interpretaciones de los niños; c) la utilización de modelos manejables, dramatizaciones...” (p. 21).</p> <p>«La observación directa del cielo es uno de los procedimientos esenciales en el estudio de la astronomía, que no siempre se trata con la amplitud que se merece en los textos escolares... En este caso resulta irrelevante que un niño, «sepa» el movimiento de rotación terrestre si no saben explicar con él la variación de la posición del Sol en el cielo a lo largo de la jornada y la sucesión de los días y las noches.» (p. 230)</p>
[31]	TOD	To	<p>“Mediante la observación directa del firmamento a simple vista, percibimos de modo inmediato, además del sol, otro cuerpo celeste singular, la luna, y una inmensa cantidad de cuerpos luminosos puntuales: las estrellas. Una observación más atenta y extendida en el tiempo, muestra el movimiento uniforme de la mayor parte de éstas a lo largo del día y del año y el de la luna y algunas de estas «estrellas», respecto a las otras que parecen mantener invariables sus posiciones relativas y permiten su agrupación en imaginarias figuras: las constelaciones...” (p. 48)</p>
[38]	FD	Du	<p>“...desde la Tierra inmóvil podemos observar cómo el Sol se mueve de arriba (21 de junio) a abajo (21 de diciembre) pasando dos veces por el punto intermedio... Si cambiamos de referencia... podemos observar el movimiento rectilíneo de la Tierra de arriba (21 de diciembre) a abajo (21 de junio). Basta sumar el movimiento circular... para conciliar ambos modelos...” (p. 52)</p>
[40]	NP y NM	He obs	<p>“Sin querer entrar en la polémica de si se deben utilizar sistemas geocéntricos o heliocéntricos en la explicación de las apariencias... sería conveniente una relación constante entre la observación y la explicación del fenómeno; al ver, por ejemplo, la órbita de Venus, no debe olvidarse relacionarla con su característica de astro matutino o vespertino.” (p. 204)</p>
[41]	TOD	Du	<p>“Cabe resaltar que esta concepción sobre la Didáctica de la Astronomía no implica poner ningún límite a la rigurosidad conceptual ni a las posibilidades de modelización lógico-matemática. Sólo propone que previamente a la necesaria abstracción los aprendices deben interactuar con los fenómenos astronómicos del mundo natural, iniciándose así un diálogo indispensable entre lo vivido y lo interiorizado, entre la realidad y el aula.” (p. 4)</p>
[41]	FD	He obs	<p>“5. ¿Qué es una constelación? ¿En cuál se halla la estrella polar?... 7. ¿Cuál es el nombre de nuestra galaxia?... 9. ¿Por qué cuando en «medio planeta es invierno, en la «otra mitad» es verano... 10. ¿Sabrías decir qué se conoce con el nombre de Big-Bang?” (p. 112)</p>
[42]	TOD	He	<p>“Como ya sabes, la Tierra gira alrededor del Sol mediante un movimiento denominado traslación... ¿Cuál de estos tres dibujos se aproxima más a la trayectoria que sigue la Tierra alrededor del Sol?...” (p. 229)</p> <p>“No es fácil relacionar la inclinación del eje de rotación de la Tierra con la cantidad de radiación recibida por unidad de superficie. La comprensión del modelo puede facilitarse con el uso de simulaciones... y diseñar un modelo sencillo Tierra-Sol con un balón y un foco de luz...” (p. 235)</p>
[43]	FD	He	<p>“Las fases de la Luna que percibimos desde nuestro lugar en la Tierra son vivencias astronómicas topocéntricas. Sin embargo, para dar una explicación sobre su origen, hay que recurrir a un punto de vista situado en el espacio. En este sentido, uno de los principales obstáculos en el aprendizaje de la astronomía es aquel que está ligado a la visión espacial, es decir, a la capacidad mental de ver y trabajar en tres dimensiones.” (p.221)</p>
[45]	NP	He obs	<p>“Los niños de esta edad deben conocer con detalle los fenómenos naturales observables para apreciar la utilización que los seres humanos hacemos de ellos. También deben acostumbrarse a buscar el porqué de estos fenómenos y a poner a prueba sus ideas mediante observaciones reales, si es posible, y/o mediante simulaciones tangibles con objetos sencillos, con su propio cuerpo, etc. Todo ello constituye un paso inicial importante para profundizar en la secundaria obligatoria en el modelo teórico abstracto (heliocentrismo).” (p. 3)</p>
[47]	NP	He	<p>Siendo el objetivo que los niños puedan establecer relaciones entre las fases de la Luna con los movimientos de los cuerpos celestes involucrados, parece necesario secuenciar apropiadamente estos conocimientos y desarrollar el contenido a lo largo de varios años a medida que los alumnos los van adquiriendo. Por último, es aconsejable ofrecer actividades didácticas que permitan a los alumnos visualizar al sistema Tierra-Sol-Luna utilizando el modelo heliocéntrico.” (p. 118)</p>
[48]	AD	Du	<p>“...la experiencia ha confirmado de qué modo quien tiene cierta práctica de observación y de reflexión sobre todo lo que se ve en el cielo, ha adquirido una capacidad de razonar sobre el macroespacio, estando en el interior del mismo.” (p. 93)</p>
[49]	NM	To	<p>“Al definir el sistema de coordenadas horizontal astronómico, y al utilizarlo en la práctica docente a través de las coordenadas acimut y altura, damos naturalmente por hecho que el espacio físico con el que trabajaremos tiene las propiedades del espacio geométrico euclídeo. Debemos entonces notar que tomar una geometría particular para describir el espacio físico es una elección arbitraria y, por tanto, la misma debería incluir ciertas «advertencias» para quienes la utilicen, en especial para sus aplicaciones en el ámbito de la educación.” (p. 79)</p>
[50]	NP	Du	<p>“Los movimientos de la bóveda celeste a lo largo de la noche y del año se pueden explicar con el modelo geocéntrico. Sin embargo, en el segundo ciclo al conocer el movimiento retrógrado de los planetas, sus satélites y la existencia de fases, se hacen patentes las dificultades para dar una explicación satisfactoria... ahora se requiere un nuevo modelo que sea capaz de explicar adecuadamente los hechos que no encajan en el modelo anterior.” (p. 81)</p>

Sistemas de referencia en la enseñanza de la Astronomía. Un análisis a partir de una revisión bibliográfica

[51]	NP	He obs	“...priorizar lo observacional y descriptivo permite que los niños realicen investigaciones científicas, cosa que en el caso de las teorías explicativas resulta altamente problemático. No hay que olvidar que el aprendizaje del modelo Sol-Tierra y las causas de las estaciones presenta una gran dificultad intrínseca... asociada en parte a las destrezas geométricas proyectivas requeridas –la capacidad de imaginar y operar el sistema en tres dimensiones y de vincular la perspectiva local con la espacial–.” (p. 165)
[52]	FD	He obs	“La enseñanza basada en modelos consistió en realizar observaciones periódicas de la Luna, y en la construcción y uso de modelos en grupos.” (p. 575)
[53]	NM	To	“El movimiento del Sol, que determina la duración de sus fases u horas, proporciona al mismo tiempo un recurso precioso para su medición: la variación de las sombras proyectadas por los objetos expuestos a sus rayos. El conocimiento exacto de esta variación ha dado lugar a la confección de los relojes solares, tanto los clásicos como otros más o menos complejos... Otra técnica muy usada ha sido la observación de la dirección de la sombra de objetos verticales, como el propio cuerpo humano. Ambos sistemas se basan en relacionar la hora con el azimut del Sol sin tener en cuenta su altura.” (p. 91)
[54]	NP	He obs	“...la mayoría de la instrucción no ayuda a los estudiantes a realizar conexiones entre los movimientos observados en el cielo y el movimiento de los planetas, el Sol y la Luna desde una perspectiva exterior (Nussbaum, 1986).” (p. 139) “Se necesita más investigación para poner a prueba las hipótesis sobre la progresión desarrolladas en esta tesis, incluyendo instrucción sobre el movimiento aparente del cielo... así como la instrucción que ayuda a los niños a aprender a conectar la comprensión del movimiento aparente con los movimientos reales de la Tierra y la Luna.” (p. 145)
[55]	NP	Du	“Comparamos los resultados de la participación de estudiantes de 3° grado (N=99) en cuatro condiciones instruccionales: un currículum que enfatiza la perspectiva basada en el espacio, un programa de planetario que enfatiza la perspectiva basada en la Tierra, clases instruccionales que enfatizan la explicación de las observaciones basadas en la Tierra y una condición final que combina tanto el planetario como las explicaciones durante la clase.” (p. 2)
[56]	NP	He	“Los resultados muestran una clara mejora de los conocimientos astronómicos de los maestros: un 97,0% de los profesores sabe que el sistema solar se compone de ocho planetas, el 42,4% conoce la correcta definición de planeta, el 78,1% sabe explicar correctamente cómo se produce un eclipse lunar y un eclipse solar; 72,7% son capaces de explicar la aparición de las estaciones del año y el 89,7% puede definir correctamente el término "cometa".” (p. 25)
[57]	NP	He obs	“Estos problemas se hacen aún más difíciles debido a que algunos de los conceptos más avanzados, especialmente los que implican la física de la luz y la interacción de la luz con la materia, debe ser entendidos antes para que los estudiantes sean capaces de sintetizar las perspectivas de las estaciones desde la Tierra y desde el espacio. Nótese... que la reconciliación de las vistas desde la Tierra y desde el espacio pueden comenzar en un nivel superior de primaria respecto al ciclo día/noche, ya que este último es menos complejo de visualizar que la causa de las estaciones.” (p. 18)
[58]	AD	He	“Con el fin de explicar con éxito las fases lunares, uno tiene que cambiar de perspectiva, pasando al espacio a partir de un punto de vista basado en la Tierra. Además, uno necesita extraer invariantes de una situación dinámica... Estos invariantes son elementos conceptuales tales como el límite de iluminación y el límite de visibilidad, y pertenecen al dominio de la geometría de la esfera. Una vez que estos invariantes son identificados, el problema de la obtención de la forma exacta de las fases se reduce a la proyección de curvas en la superficie de la esfera.” (p. 18)
[59]	TOD	To	“Esta primera parte está dedicada, como hemos apuntado, a presentar y estudiar las posibilidades de algunos instrumentos basados todos ellos sobre el mismo principio: la determinación de la posición y trayectoria del Sol mediante la observación directa de las sombras que sus rayos producen.” (p. 51)
[60]	TOD	He	“Son esas imágenes... las que no nos permiten entender la causa real de las estaciones. Porque si las imágenes se correspondiesen con la realidad, habría que deducir de ellas una gran variación de temperaturas en función de la cercanía-lejanía de la Tierra y el Sol. Y eso es lo que piensan quienes las han tenido tantas veces delante de sus ojos, sin acordarse de la inclinación del eje de rotación, ni de que en el otro hemisferio la estación es contraria.” (p. 6)
[61]	NP	To	“La Luna no puede ser el símbolo de la noche... porque es un grave error conceptual que colisionará más tarde con la explicación correcta del fenómeno noche-día (ausencia-presencia de luz solar), con la visión heliocéntrica del sistema solar y con la idea de un universo dinámico.” (p. 70)