



UNA PROGRESIÓN DE APRENDIZAJE SOBRE IDEAS BÁSICAS ENTRE FÍSICA Y ASTRONOMÍA

UMA PROGRESSÃO DE APRENDIZAGEM SOBRE IDEIAS BÁSICAS ENTRE FÍSICA E ASTRONOMIA

A LEARNING PROGRESSION ABOUT BASIC IDEAS BETWEEN PHYSICS AND ASTRONOMY

Enrica Giordano* 

Cómo citar este artículo: Giordano, E. (2021). Una progresión de aprendizaje sobre ideas básicas entre Física y Astronomía. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 16(2), 272-293. DOI: <https://doi.org/10.14483/23464712.17107>

Resumen

Aunque la gente parece estar motivada de forma natural hacia el aprendizaje de la Astronomía, muchos, incluso en los niveles educativos altos, muestran dificultades para la explicación de los fenómenos astronómicos de cada día. A pesar de haber cursado años de estudio, las personas suelen tener una información fragmentada de los hechos astronómicos básicos, tales como alternancia día-noche, estaciones y zonas climáticas, fases de la luna, eclipses, entre otros. En general, en los discursos de las personas hay carencia de una panorámica general y coherente sobre dichos fenómenos de la naturaleza y la forma como influyen en la vida de cada quien. En este trabajo presentamos un resumen de algunas de las dificultades más comunes para el aprendizaje de la Astronomía básica y mostramos algunos de los resultados que ha presentado la literatura, en donde se proponen estrategias para superarlos. Luego describimos una propuesta para una progresión de aprendizaje sobre conceptos básicos entre Física y Astronomía. La propuesta se basa en una larga experimentación de campo con alumnos de 3 a 14 años, así como con profesores y ciudadanos.

Palabras Clave: Enseñanza de la Astronomía de posición. Coherencia entre fenómenos astronómicos. Física y Astronomía.

Abstract

Although people seem to be naturally motivated towards learning astronomy, many, even at high educational levels, show difficulties in explaining everyday astronomical phenomena. Despite having studied for years, people tend to have fragmented

Recibido: 30 de noviembre de 2020; aprobado: 09 de abril de 2021

* Esta propuesta fue presentada en la III Escuela Latinoamericana de Enseñanza de las Ciencias y la Astronomía celebrada en mayo de 2016 en Cali. La investigación de la que se presentan los resultados duró muchos años y se llevó a cabo principalmente en proyectos financiados por el Ministerio de Educación, Universidad e Investigación de Italia.

** Profesor asociado de la Universidad de Milán-Bicocca, Italia. Enrica.giordano@unimib.it ORCID 0000-0003-4781-002X

information on basic astronomical facts, such as day-night cycles, seasons and climatic zones, phases of the moon, eclipses, among others. In general, in people's speeches, there is a lack of a complete and coherent overview of these natural phenomena and the way they influence the life of any person. In this paper, we present a summary of the most common difficulties in learning observational astronomy, and we show some strategies to overcome them proposed by international researchers in the field. Then we describe a proposal for a learning progression on basic concepts between physics and astronomy. The proposal is based on long field experimentation with students from 3 to 14 years old, as well as with teachers and citizens.

Keywords: Teaching observational Astronomy. Coherence between astronomical phenomena. Physics and Astronomy.

Resumo

Embora as pessoas pareçam estar naturalmente motivadas para aprender astronomia, muitas, mesmo em níveis educacionais superiores, apresentam dificuldades em explicar os fenômenos astronômicos do dia a dia. Apesar de ter estudado vários anos, as pessoas tendem a ter informações fragmentadas sobre fatos astronômicos básicos, como alternância diurna e noturna, estações e zonas climáticas, fases da lua, eclipses, entre outros. Em geral, nas falas das pessoas falta uma visão completa e coerente desses fenômenos da natureza e da forma como eles influenciam a vida de cada pessoa. Neste trabalho apresentamos um resumo de algumas das dificuldades mais comuns para o aprendizado da astronomia básica e mostramos alguns dos resultados apresentados por pesquisadores internacionais, onde são propostas estratégias para superá-las. Em seguida, descrevemos uma proposta para uma progressão de aprendizagem em conceitos básicos entre Física e Astronomia. A proposta é baseada em uma longa experimentação de campo com alunos de 3 a 14 anos, bem como com professores e cidadãos.

Palavras chave: Ensino de Astronomia de posição. Coerência entre fenômenos astronômicos. Física e Astronomia.

Causa perplejidad que se nos encierre en lóbregos recintos para iniciarnos en el conocimiento de la naturaleza, que debemos escuchar por horas y por meses un saber aburrido y fósil mientras afuera discurre el milagro del mundo. (Ospina, 2006

1. Introducción

De acuerdo con una amplia literatura, las llamadas concepciones alternativas, conceptos erróneos o

preconcepciones, son espontáneos sólo en parte, muchos son construidos por los estudiantes a partir de su experiencia de vida en situaciones naturales, comunicativas y sociales y no todos son erróneos, Gagliardi & Giordano (2015). Gran parte de estos conocimientos, que a menudo divergen del conocimiento científico aceptado por la comunidad, no es espontáneo, sino que es el resultado de la educación formal tanto en sus contenidos como en la forma en que se enseña. Adicionalmente, en

la educación formal rara vez se tienen en cuenta las experiencias y las concepciones ya presentes en los estudiantes, que deberían ser consideradas, no sólo como obstáculos, sino también como anclajes para el aprendizaje posterior. Clement, Brown & Zietsman (1989)

2. Algunas dificultades en la enseñanza tradicional de la Astronomía

Hacer una revisión exhaustiva de los conceptos erróneos en la Astronomía, como los que muestran Bayler & Slater (2004); Lelliott & Rollnick (2010); está más allá del ámbito del presente trabajo. Enseguida, mencionaremos algunos que nos resultaron particularmente importantes e interesantes, ofreciendo nuestra interpretación sobre las condiciones que hacen que aparezcan y persisten.

Al analizar la enseñanza de la Astronomía en los países del hemisferio Sur y en la zona ecuatorial Guataquirá & Castiblanco (2020), la situación se puede considerar aún peor, ya que se enseña en todo el mundo a través de representaciones y modelos que se han desarrollado durante siglos en el hemisferio Norte, tratando como universal un punto de vista que responde a la forma de ver el mundo, en un lugar particular con sus propios cambios. Para los estudiantes de la zona alrededor y al Sur del ecuador, el contraste entre lo que se aprende y lo que se vive cada día, que vamos a describir en detalle más adelante, es aún más fuerte que en el caso de los países al Norte del ecuador, pues no suele coincidir lo que se enseña con lo que se observa. Esto exige repensar los contenidos y métodos de enseñanza desde una perspectiva epistemológica sobre los significados para quienes se enseña, y sobre lo que se enseña. Camino (2011); Camino et al. (2016); Camino (2018); Candamil & Romero-Chacón (2019); Nardi et al. (2020).

2.1. Primer ejemplo: las estaciones

Las estaciones parecen un contenido muy difícil de ser construido correctamente y en cuya interpretación persisten errores incluso en los niveles

escolares avanzados. Al analizar la forma en que normalmente se enseña este tema, nos damos cuenta de que suelen usarse palabras, imágenes y modelos que concluyen que "las estaciones existen porque el eje de la Tierra está inclinado" Pero, ¿Qué relación hay entre la "inclinación" de la Tierra y el hecho que existan las estaciones? ¿Cómo se explica que por esta razón en Europa las estaciones son muy diferentes de las estaciones en Colombia y son a la inversa en la Patagonia Argentina, o en Australia, con relación al norte? Los medios de comunicación y los textos generalmente no se enfrentan explícitamente con la explicación de estas cuestiones.

Encontramos que los estudiantes, para dar sentido a las afirmaciones que encuentran en textos y dibujos, imaginan la órbita de la Tierra altamente elíptica y también imaginan que, al inclinarse el eje, la cara de la parte Norte se encuentra más cerca al Sol en un caso (verano) y más lejos en otro (invierno). Algunos estudiantes que viven al Norte también piensan que es verano cuando la Tierra está en el perihelio y que es invierno cuando la Tierra está en el afelio. Los dibujos del sistema solar, que usualmente no son a escala porque es imposible hacerlo en el tamaño de la hoja de un libro, de modo que se vean bien cada planeta y sus respectivas distancias al Sol, proporcionan a los estudiantes un imaginario sobre el cual basan estas ideas, ya que el planeta suele ser dibujado demasiado cerca del Sol y demasiado grande en relación al Sol, para lo que es en realidad. Pero ¿Cómo puede ser verano en el Norte e invierno en el Sur, cuando se considera que la explicación radica en la posición de toda la Tierra respecto al Sol? ¿No se dan cuenta de la contradicción? Se aplica un esquema válido en otros contextos experimentales: más cerca de una fuente de calor implica más cálido. De acuerdo con DiSessa (1988), más que un concepto erróneo, aparece una *p-prim*, una idea fenomenológica primitiva, que en sí no es incorrecta, pero se va usando en contextos en los que, por las dimensiones y las distancias, no son aplicables.

2.2. Segundo ejemplo: direcciones en el espacio

Fundamentalmente qué significa: ¿El eje? ¿Está

inclinado? ¿Con respecto a qué? Para dar sentido a estos conceptos lo primero que todos hacemos es imaginar la Tierra en el espacio alrededor del Sol como la representa el globo terráqueo, modelo muy difundido y comercializado idéntico en todo el mundo.

Pero el globo implícitamente nos lleva a suponer que existe un plano (horizontal) y una dirección (vertical) absoluta en el espacio y que, con respecto a ellos, la Tierra está inclinada, dando a esta palabra el mismo significado que tiene en nuestra vida diaria, en un ambiente caracterizado por la presencia de la fuerza peso. El globo tradicional también insinúa la idea de que hay un "arriba" y un "abajo" absolutos y que los habitantes de los países del Norte están "por encima y cabeza arriba" mientras que los del Sur están "cabeza abajo" y "abajo" de otros países. Nuevamente se aplican esquemas válidos en situaciones cotidianas a casos muy diferentes por orden de magnitud de las distancias y de las fuerzas que actúan en este fenómeno.

A partir de lo anterior podemos decir que, básicamente vivimos sobre un terreno plano y firme y repetimos que la Tierra es esférica y que tiene dos movimientos. Aprendemos ideas que parecen contrarias al sentido común, vivimos en una contradicción entre lo que vemos y lo que sabemos, entre "ver cómo Tolomeo y hablar como Copérnico" Lanciano (1989). Memorizamos incluso tablas y diagramas para visualizar este conocimiento desde un punto de vista externo a la Tierra y también ajeno a nuestros sentidos. Estas representaciones están generalmente construidas de acuerdo a lo que se observa desde el hemisferio Norte como en el caso del sistema solar o de las fases de la luna.

3. Pero ¿Cómo conciliar lo que se ve con lo que se sabe?

La enseñanza por lo general no aborda explícitamente este problema y da la impresión de que el conocimiento científico escolar es la verdad que debe aprenderse de una manera dogmática y debe repetirse como tal. Nada más contrario a las afirmaciones

hechas por muchos profesores y educadores en relación con el método científico y el espíritu crítico que la ciencia debería formar.

Esta perspectiva dogmática, lleva a que los estudiantes sobrevivan al sistema educativo, muchas veces renunciando a ver, a mirar al cielo. Especialmente los que vivimos en las ciudades, carecemos de una base de observación de los eventos diarios, no sabemos mirar con cuidado, nuestra mirada se dirige hacia el suelo, a nuestros pies, raramente hacia el cielo. ¿Quizás porque nos pesa demasiado la cabeza, llena de nociones!

3.1. Soluciones propuestas en la literatura sobre didáctica de la Física

La investigación en didáctica de las Ciencias Naturales, especialmente en la Física, ha desarrollado unas sugerencias básicas a tener en cuenta para una enseñanza de calidad y un aprendizaje significativo. Para superar la fragmentación tradicional y la superficialidad de muchos aprendizajes la investigación propone un nuevo marco para la educación científica K-12 basado en pocas ideas básicas, conceptos transversales y prácticas científicas, como lo exponen (NRC, 2007; NRC 2012). Abandonando la idea simplista de un único "método científico" se asume una visión de la ciencia como un cuerpo de conocimientos basado sobre evidencias; una empresa de construcción de modelos que continuamente se extiende, se refina y se revisa; una empresa social que procede de forma no lineal sobre problemas complejos. Conocimientos y métodos de los cuales uno puede apropiarse solamente mediante la práctica de los mismos.

La investigación señala que la educación científica básica debe basarse en prácticas científicas tales como: hacer preguntas, observar cuidadosamente en situaciones naturales; experimentar en situaciones controladas operando variaciones sistemáticas; utilizar varios lenguajes para representar lo que se ha observado y experimentado: el lenguaje corporal, palabras, dibujos, bocetos y diagramas; crear interpretaciones provisionales y revisarlas a la luz de las pruebas de experimentaciones subsiguientes y de

la comparación entre compañeros y con expertos; utilizar modelos y analogías.

La investigación pone de relieve la importancia del papel activo del alumno a través de su participación en esta variedad de prácticas y metodologías. Por lo tanto, no se debe enseñar a repetir contenidos aprendidos de memoria; hay que enseñar a practicar las metodologías y el tipo de pensamiento científico sobre pocos temas claves trabajando, en continuidad y coherencia, a lo largo de los diferentes grados escolares. La propuesta para este trabajo transversal se puede llamar como un aprendizaje progresivo. “Una progresión de aprendizaje se define como una secuencia de formas sucesivamente más sofisticadas de pensar sobre un tema, que pueden seguir unas a otras mientras los niños aprenden acerca de un tema en un amplio espacio de tiempo (por ejemplo, 6-8 años)” (National Research Council - NRC, 2007) El debate está abierto acerca de cómo definir y validar las progresiones de aprendizajes que generalmente son hipotéticas ya que es prácticamente imposible seguir los mismos estudiantes en un camino a lo largo de años y son comprobables solo segmentos parciales de ella. En el caso de la Física la literatura internacional ha presentado propuestas innovadoras para prevenir o superar los errores más comunes basados en trabajos experimentales de situaciones reales de clase. Recientemente han aparecido propuestas para una progresión de aprendizaje en la Astronomía, Plummer (2012) e ideas para una secuencia pedagógica, Padalkar, Ramadas (2007). Algunas características compartidas de estas propuestas son: empezar desde la perspectiva local de los fenómenos; hacer que las personas participen activamente en experiencias kinestésicas, recoger de datos, construir y usar herramientas y modelos concretos, antes del uso de textos y simulaciones electrónicas.

3.2. *La base de nuestra propuesta*

Nuestra contribución se basa en la investigación sobre la educación científica fundamental italiana Arcà, Guidoni, Mazzoli (1990); Lanciano (2014); que desde hace años enfatiza en la importancia de

trayectorias longitudinales de enseñanza y el aprendizaje de la Física y la Astronomía en términos de ideas-marco y procedimientos científicos, Levrini et al (2009). Conectamos Física y Astronomía porque pensamos que tiene más sentido la enseñanza simétrica de ambas disciplinas ya que a lo largo de la historia de la ciencia han estado siempre estrechamente vinculadas.

Por ejemplo, para interpretar los hechos básicos relacionados con la forma como se observan los cielos desde la Tierra, lo que suele llamarse Astronomía de posición, son esenciales ideas básicas sobre la Física del movimiento y de la luz. Al mismo tiempo la Astronomía, que resulta ser motivante por sus objetos de estudio, puede dar significado al estudio de la Física, que se enseña a menudo completamente fuera de la realidad y por lo tanto resulta incomprendible para muchos estudiantes y desalentador para acercarlos al conocimiento científico.

También, quizás más importante, creemos que a partir de la Astronomía se hacen más evidentes los aspectos generales de la formación de individuos y de la construcción de su propia identidad, lo cual debe ser siempre uno de los objetivos de la educación, en consonancia con las reflexiones de Camino et al (2016); Camino (2018). Observar lo que ocurre en el cielo, sobre el horizonte local, en un día y en un año, permite al estudiante a tomar conciencia de su propio lugar en el mundo. Al comparar su conocimiento con el conocimiento histórico y las culturas locales, va apropiándose de la forma específica de construcción de conocimiento en la sociedad a la que pertenece. Preguntarse por lo que está ocurriendo simultáneamente en otros lugares de la Tierra le permite al estudiante descubrir lo que va cambiando al cambiar del punto de observación bajo el mismo cielo y le abre el camino hacia la interpretación de lo que sucede a nivel local en relación con lo que le ocurre a toda la Tierra en su conjunto.

En una palabra, mientras está aprendiendo conocimientos específicos, el aprendiz se convierte en una persona capaz de enfrentarse a problemas locales y al mismo tiempo a insertarlos en una dimensión global.

Ya hemos dicho que la enseñanza tradicional de la Astronomía, cuando está presente en el plan de estudios de la escuela, es a menudo muy fragmentada y no parece capaz de hacer adquirir un conocimiento significativo y consistente de los principales fenómenos astronómicos. En consonancia con los objetivos que acabamos de definir, en los últimos años hemos diseñado un camino longitudinal de aprendizaje sobre la Astronomía observacional, de posición, en relación con la Física.

Trabajando con alumnos de 3 a 14 años, experimentamos segmentos de esta trayectoria. Ninguna de las clases con quienes hemos trabajado pudo seguir todo el recorrido de construcción del conocimiento. Por eso la secuencia de enseñanza se reconstruye de forma teórica, basada estrictamente en los datos obtenidos en experimentos reales que a veces duraban más que un año escolar. De acuerdo con la literatura la podemos llamar una progresión hipotética de aprendizaje. Sólo en la formación universitaria de los futuros maestros de jardín de infancia y de escuela primaria hemos tratado de, aunque en el tiempo limitado a nuestra disposición, proponer las etapas cruciales de toda la trayectoria. Con base en las reflexiones realizadas y los datos obtenidos por estas experimentaciones en situaciones de clase, llegamos a proponer lo que podría llamarse una progresión de aprendizaje multi-fases, un recorrido longitudinal de aprendizaje a partir de los dos-tres años. Se trata básicamente de tres fases que no son necesariamente separadas ni estrictamente consecuentes. A continuación, presentamos el recorrido en sus etapas básicas. Luego seguirá la exposición detallada de algunas de las actividades, especialmente de la primera y segunda fases, con ejemplos que se derivan de casos experimentales en la escuela y la formación universitaria docente.

4. Las tres fases de la propuesta, en síntesis.

4.1. *El marco local: la vista desde su lugar*

Observar el cielo del día y de la noche sobre el horizonte local, registrar datos observacionales,

construir modelos interpretativos.

En esta etapa, que también podríamos llamar la cinemática de los movimientos celestes, los objetos celestes se observan a simple vista y se describen en el sistema de referencia fijo con el observador, que se encuentra en un punto específico en la Tierra. En comparación con la observación de la vida cotidiana aquí se procede sistemáticamente a lo largo de escalas de tiempo largas: un día, un mes, un año, más años. La recopilación sistemática de las observaciones permite construir una cultura astronómica de clase, que se puede apoyar en la cultura astronómica de sociedades locales o incluso distantes.¹ En el nivel metacognitivo se presenta en toda su evidencia la complejidad de la relación entre hechos y teoría, la diferencia epistemológica fundamental entre observación e interpretación. En relación con el estudio de la relatividad del movimiento en Física se empieza a introducir la idea de que son posibles más interpretaciones de las mismas observaciones.

4.2. *El marco geocéntrico global: la vista desde la Tierra*

Reconocer su propia posición sobre la Tierra en relación con otros países; mirar lo que sucede en toda la superficie de la Tierra; comparar observaciones cualitativas y datos entre ubicaciones a diferentes latitudes y longitudes; conectar la visión local y global de lo que ocurre a la Tierra en términos de luz y sombra. En esta segunda fase se asume lo que podríamos llamar el punto de vista geocéntrico global. A través del uso de una herramienta innovadora, desarrollada por el grupo de investigación italiano-argentino, el globo terráqueo paralelo, se puede observar lo que le ocurre a la Tierra en su totalidad cuando cambia la iluminación del planeta a lo largo

¹ En Italia, desde hace años se encuentran cada vez más alumnos de diferentes naciones del mundo. La propuesta de Astronomía puede ser vista como una propuesta de educación intercultural, de respeto a otras culturas, de valorización de la experiencia y del conocimiento traído por cada uno de los alumnos. La recuperación de historias y tradiciones sobre el origen del mundo permite conexiones más fuertes con la historia, la geografía, la literatura y el mito, etc. Una discusión detallada de estas conexiones está más allá del espacio de este escrito, pero constituyen una de las razones fundamentales de la enseñanza de la Astronomía que nos proponemos.

de un día y de un año, Rossi et al. (2015); Lanciano (2014); Camino (2014). Se pueden colocar sobre el globo pequeños instrumentos similares a los utilizados para las observaciones locales, típicamente un gnomon, para poner en conexión las observaciones locales y globales y para ver lo que pasa cuando cambia la posición del observador en el planeta.

La comunicación con estudiantes de otros países, facilitadas por la tecnología de la información, le permite comprobar sus observaciones con el globo terráqueo paralelo, con las observaciones locales directas confirmando el uso correcto del instrumento. Unos de los conceptos fundamentales en los que se insiste son: la diferencia entre arriba/abajo y Norte/Sur; la imposibilidad de hablar de direcciones absolutas o privilegiadas en el espacio cósmico.

En este marco de referencia **Norte/Sur** se definen por el movimiento observado de la esfera celeste que gira alrededor de un eje que también pasa a través del planeta. Es una dirección única que se presenta en posición diferente sobre diferentes horizontes.

Por otro lado, **arriba/abajo** dependen de la fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre los objetos que la rodean. Son múltiples direcciones, desde los diferentes puntos de la superficie hacia el centro de la Tierra. Por lo tanto, no tiene sentido decir que el Norte está arriba y el Sur está abajo. La fuerza de la gravedad Sol-Tierra y su movimiento mutuo definen un plano, el plano de la eclíptica, que está inclinado con respecto al eje de rotación, pero no tiene una orientación especial en el espacio.

4.3. El marco heliocéntrico: la vista desde el Sol

En la tercera fase se llega a la visión del sistema solar en el espacio, desde una nueva perspectiva. Si fue construida correctamente la idea de que no hay direcciones privilegiadas en el espacio, aun las representaciones tradicionales del plano de la eclíptica como plano horizontal no tiene sentido. Igualmente, la idea del eje de la Tierra inclinado con respecto a la vertical local y siempre con el Norte arriba ya no tendría sentido. Así, tanto los modelos concretos como las representaciones gráficas y las animaciones en nuestro recorrido prevén que el

plano de la eclíptica pueda tomar diferentes posiciones en el espacio y con ella vaya cambiando la inclinación del eje de la Tierra con respecto al horizonte, coherentemente con las observaciones del globo terráqueo paralelo en diferentes latitudes. Como conceptos básicos de la Física, la conexión más obvia es la idea de la relatividad del movimiento. Para hablar de movimiento y estudiarlo, siempre se debe especificar el sistema de referencia del observador. La idea de centro de masa del sistema solar que está ubicado en el Sol puede introducirse a través de un magnífico video del proyecto PSSC (1956).

También se necesitan y se construyen ideas básicas fundamentales de óptica como: la propagación rectilínea de la luz; el modelo de rayo; el cuasi-parallelismo de los rayos que llegan desde una fuente muy lejana, prácticamente al infinito.

5. Sugerencias para la enseñanza en la escuela secundaria

A nivel de educación media, jóvenes entre 15 y 19 años, que no se tratan en esta propuesta, se podría continuar con el estudio relacionado de la Mecánica y la Astronomía introduciendo la Gravitación universal y la Relatividad en términos de la Mecánica clásica y einsteiniana.

La Óptica Física, por supuesto, permite abordar aspectos astrofísicos que aquí solo nombramos, principalmente: colores y espectros en relación con la naturaleza y la composición de las estrellas o el movimiento de las galaxias. Al final todos los tópicos contribuyen a construir el concepto transversal de energía en términos mecánicos, luminosos e incluso térmicos.

A continuación, vamos a tratar con más detalle las dos primeras fases intentando explicar los pasos principales en términos de conceptos científicos básicos y prácticas implementadas, que ilustraremos con experiencias hechas en las clases, de donde tomamos extractos de discusión, dibujos y modelos realizados.

5.1. El punto de vista local: observar, registrar, construir modelos

Las principales actividades de la primera fase son:

- Observar el cielo del día a simple vista desde el punto de vista local, mirando a su alrededor.
- Dibujar el horizonte visual. Identificar los puntos cardinales y direcciones en el plano horizontal.
- Registrar el movimiento observado del Sol², de la Luna³ y las estrellas sobre un observatorio cilíndrico y un observatorio esférico en un día y en un año.
- Registrar el movimiento observado del Sol a través de la sombra de un gnomon.
- Observar a simple vista desde el punto de vista local el cielo de la noche.
- Interpretar las observaciones.

Ejemplos

a) Observar a simple vista el cielo diurno. Describir con palabras y dibujos sus observaciones y sensaciones. Se empieza haciendo observaciones en el entorno, al aire libre, recopilando datos cualitativos y registrándolos en diferentes soportes. Esta actividad siempre se propone al principio del curso, a estudiantes de todas las edades, para crear una relación directa con el cielo, para dar lugar a la curiosidad y a preguntas.

A partir de las experimentaciones con estudiantes de todas las edades hemos recopilado preguntas acerca de aspectos que no esperábamos, dando por obvias y sentadas cuestiones que en cambio resultan esenciales. Por ejemplo, los niños pequeños usualmente pintan el cielo como una franja azul en la parte superior de su dibujo, separada del suelo por una zona blanca, el espacio para los árboles, las personas, las aves etc. Algunos preguntan,

¿Por qué el cielo no se cae en la cabeza?

¿Cómo puede mantenerse parada la zona azul?

Incluso las/os maestras/os en formación a menudo ofrecen cuestiones interesantes como,

² Con una protección adecuada.

³ El estudio de la Luna, que fue experimentado por nuestros grupos de investigación en varias ocasiones con estudiantes de diferentes edades, es muy importante. Pero requeriría un espacio que está más allá de los límites de este informe.

¿Donde comienza el cielo y donde termina?

¿Qué es el cielo?

¿Donde esta el azul?

Los niños no se desaniman ante nada, en su propia forma abordan también las preguntas más grandes y llegan a hablar del cielo en forma profunda y refinada, como se observa en los siguientes diálogos entre niños de 5 años, frente a las preguntas,

¿Qué es el cielo?

Martina: Podemos tocar sólo el aire, pero siempre es cielo a pesar de que no lo vemos.

Simone: Es algo azul, muy oscuro y profundo.

¿Donde empieza y donde termina?

Federico: parte de la tierra y termina en el espacio

Alessandro: el cielo termina donde existe el espacio y allá ya no es visible porque hay todo azul y los planetas y las estrellas

Gianluca: el cielo se ve arriba y llega hasta debajo

Clara: el cielo está en todas partes, pero hay casas que no lo dejan ver, o las paredes o árboles, o las grúas, pero si estamos afuera siempre lo vemos

Ellos saben escuchar y cambiar de opinión en comparación con los otros y encontrar las palabras para decir sus nuevas conclusiones, como dice esta niña de 7 años,

Entendí: tenemos los pies sobre la tierra y la cabeza hacia el cielo

El dibujo por zonas de los niños pequeños permite introducir la diferencia entre el cielo cercano, campo de estudio de los meteorólogos y de los físicos de la atmósfera y el cielo distante que estudian los astrónomos.

Cuando se mira hacia el sol con las gafas que se utilizan normalmente para mirar un eclipse de Sol los niños son afectados por el hecho de que el sol se ve pequeño y sin rayos. Si el filtro que utilizan muestra el sol en blanco no dudan en decir que ellos están viendo la luna. Incluso los adultos tal vez lo piensan, pero no lo dicen. Se trata de cuestiones importantes que permiten abrir un debate por ejemplo sobre lo que es un rayo, introducir la idea de modelo. O que la luna llena y el sol a la vista

parecen iguales, a pesar de que son muy diferentes por tamaño y distancia. Se empieza a sospechar que las dimensiones celestes están muy lejos de la escala ordinaria, tema al que se vuelve muchas veces, con diferentes niveles de detalle, a lo largo del camino.

b) El horizonte visual y su dibujo⁴

En Astronomía hay dos tipos de horizonte, en dos niveles diferentes:

"El horizonte local es la línea de separación y unión entre el cielo y la tierra, que siempre está abierto y es visible si el aire es puro; limita la vista y proporciona puntos de referencia; es un lugar de encuentro entre el espacio y el tiempo a través del movimiento de los astros. Mientras el horizonte astronómico es un círculo máximo de la esfera celeste" Lanciano (2016, p.45)

Muchas veces las palabras y las fotos de los libros o sitios, por lo general vistas al mar, no ayudan a distinguir entre los dos horizontes y casi sugieren que existe el horizonte sólo en la naturaleza, donde la vista es amplia, como al mar, y no en la ciudad. A través de una discusión emergen las ideas iniciales: en Milán no hay horizonte, está cubierto por los edificios, mientras los gestos del cuerpo indican una línea plana y recta. A continuación, los estudiantes

tienen el reto de poner sus ideas a prueba mediante los hechos.

Se les invita a salir a campo abierto y buscar la línea real de separación entre cielo y tierra, girando lentamente sobre sí mismos y dejando que la mirada llegue hasta el cielo. Dibujando con el dedo la línea del horizonte en el cielo se dan cuenta que la línea actual es endentada y creada por objetos a diferentes distancias del observador. Se pasa por fin a un dibujo colectivo del horizonte visible sobre papel u otro material. Ver Fig. 1.

c) Registrar el movimiento observado del sol (de la luna y de las estrellas) sobre un observatorio cilíndrico y un observatorio esférico en un día y en un año. Puntos cardinales y direcciones en el espacio. El horizonte dibujado, bien orientado, se convierte en un observatorio cilíndrico en el que se puede anotar cada salida y puesta del sol, de la Luna, de los planetas y las estrellas, como se ve en la Fig. 2. Es una importante base para aprender a extraer inferencias de los diagramas. Pero es complejo usar este observatorio cilíndrico para seguir el camino de los astros en el cielo en todas las épocas y los lugares. La proyección sobre un cilindro con eje vertical de hecho plantea problemas de deformación de la esfera celeste ya evidentes en verano a latitudes como la de Milán (45° N) y es obviamente imposible de utilizar en los países entre los dos trópicos donde se puede utilizar un cilindro con eje horizontal, como

4 La construcción concreta del horizonte es una actividad para primaria, pero los niños mas pequeños pueden utilizarlo fácilmente.



Fig. 1. "Pintando la cara a a tierra" (Piragua, 2015), horizonte colectivo en papel. Fuente: Foto tomada por L. Piragua en la escuela rural Los Rosales para su tesis de Doctorado



Fig. 2. Dibujo de la puesta del Sol en diferentes días. Fuente: Dibujo de niños de primaria, Tesis de grado E. Nozza.



Fig. 3a. Observatorio cilíndrico en red metálica donde fueron colgadas figuritas del sol en correspondencia de las posiciones observadas del Sol a través de un tubo colocado en la parte superior del gnomon



Fig. 3b. Desde las figuritas parten hilos que pasando a través de un anillo ubicado sobre el gnomon llegan al final de su sombra, representando un rayo del haz de luz del sol.



Fig. 3c. El reloj de Sol cilíndrico en el Parque Explora de Medellín. Puesto que el cilindro no es transparente, en la parte superior del gnomon hay un espejo que refleja el haz de luz hacia la superficie interior

Fuente: 3a Foto de estudiantes de Primaria trabajando en el Jardín Astronómico de Giocheria Laboratori por el conductor del taller M. Onid.

Fig.3b foto de estudiantes de colegio trabajando en el Parco Trotter con su profesora. Foto por el autor en las 3b y 3c.

se observa en las figuras 3a, 3b y 3c. Todos los objetos del cielo lejano del observador se pueden pensar como proyectados sobre la superficie interior de una cúpula muy grande, parte de una esfera imaginaria, la bóveda celeste. Para elaborar esta bóveda la solución más sencilla es utilizar un paraguas de plástico transparente como superficie, sobre la cual se marcará el Polo Norte / Sur celeste y el recorrido del sol y de los astros que se observa sobre el horizonte local. Ver Figuras 4a, 4b y 4c.

El movimiento observado del Sol traza en el espacio un camino con un punto de cumbre al que corresponde un punto en el tiempo, es decir, el mediodía solar verdadero. El punto de cumbre no se debe confundir con el Zenit. Los dos puntos no coinciden. En Milán el sol nunca pasa del Zenit. Incluso en los países tropicales, donde el sol llega muy alto en su ruta, sólo dos días al año esto sucede. Y el Zenit tampoco indica el Norte (Sur) como el paraguas podría sugerir. El uso de observatorios al exterior



Fig.4a. Cúpula de plástico transparente



Fig.4b. Cúpula de metal en un Jardín Astronómico.



Fig.4c. Paraguas transparente con horizonte en papel.

Fuente: 4a y 4 c Estudiantes de primaria trabajando en el Parco Trotter con la futura maestra Laborante por su tesis de grado
4b foto por el autor de estudiantes trabajando en el Jardín Astronómico de Giocheria Laboratori

se puede complementar con la implementación al interior, de modelos simples y la construcción/visión de dibujos esquemáticos y simulaciones de Stellarium, como se observa en las Figuras 5a y 5b.

d) *Registrar el movimiento observado del sol a través de la sombra de un gnomon. Puntos cardinales y direcciones en el plano horizontal.*

Simultáneamente con el registro del movimiento del sol en el espacio, se pueden hacer estudios de sombras por un gnomon vertical sobre una superficie horizontal. La sombra del mediodía solar, dibujada como la sombra más corta o trazada como eje de simetría entre las sombras de la mañana y de la tarde, siempre muestra la dirección Norte-Sur.

e) *El cielo de la noche*

Sugerimos, siempre que sea posible, pasar unas cuantas horas al aire libre por la tarde/noche, preferiblemente en un lugar no demasiado brillante, acostarse en el piso y mirar al cielo para sentirse parte de la profundidad del espacio y del movimiento del cielo. Esta actividad de relación intensa y directa con el cielo se puede combinar con el uso del observatorio cilíndrico o esférico para registrar el movimiento observado de las estrellas.

Las personas se dan cuenta de que todo el cielo de día y de noche rueda en nuestro horizonte de Este a Oeste alrededor de un eje que pasa a través de un punto en el cielo que está quieto. Para el hemisferio Norte es la posición que ahora ocupa la

estrella polar, aproximadamente. Surge entonces la pregunta ¿Estamos seguros de que todo el cielo gira realmente alrededor de nosotros? ¿Somos tan especiales que estamos justo en el medio de un universo tan grande y profundo? La duda sobre si somos nosotros los que en realidad nos movemos respecto al cielo, siempre surge espontáneamente. El uso de Stellarium puede completar, pero en nuestra opinión, no sustituir la relación directa. Entre las diversas características de este software, recomendamos, por ejemplo, eliminar la atmósfera, darse cuenta que fuera de ella el cielo es negro y anotar con atención en qué constelación se encuentra el Sol durante varios meses, observando el desfase del movimiento del Sol con respecto a las estrellas del zodiaco.

f) *Interpretando las observaciones*

Un juego con el cuerpo permite crear un modelo dinámico, aunque limitado al plano, por lo que se representa la visión de los antiguos: el estudiante-Tierra se detiene en el centro, el estudiante-Sol y el círculo de doce alumnos-constelaciones zodiacales, giran alrededor del estudiante-Tierra para representar la alternancia día-noche. El círculo del sol y la banda de las constelaciones, sin embargo, debe girar a diferentes velocidades para conseguir que por la noche no siempre se vea el mismo cielo desde la Tierra. También esto se logra fácilmente con el juego con el cuerpo.

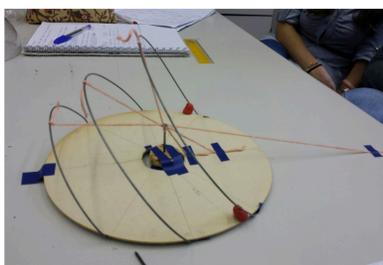


Fig. 5a. Un modelo construido por futuros maestros de primaria con base a sus propias observaciones y grabaciones sobre el paraguas transparente (Taller M. Onida abril-mayo, 2016)

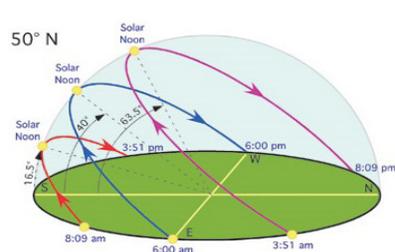
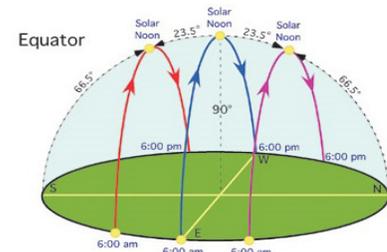


Fig. 5b. Un modelo gráfico. Los tres recorridos corresponden a Solsticios y equinoccios, indican los trópicos y el ecuador en el cielo del lugar del observador: 50° de latitud Norte a la izquierda y al Ecuador (Equator en inglés) a la derecha



Fuente: 5a foto por el conductor del taller M. Onida

5b <https://www.notesfromnoosphere.blogspot.com/2012/05/simple-geometry-of-sun-paths.html>

[282]

Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias

e-ISSN: 2346-4712 • Vol. 16, No. 2 (may.-ago., 2021), pp. 272-293

Copérnico afirmaba: "Si un observador ve un cuerpo que se mueve, es decir, que ocupa diferentes posiciones en el tiempo con relación con el observador, entonces, tres conclusiones son posibles: se mueve el cuerpo, se mueve el observador, ambas se mueven con movimientos diferentes" Copérnico (1543). Por lo general, los físicos eligen como mejor la situación en la que la descripción matemática es más simple y elegante.

Para dar sentido a esta sentencia que podría ayudar a responder a la cuestión del movimiento relativo de la Tierra y los astros, se puede utilizar siempre el juego con el cuerpo colocando parados, en el centro, el estudiante-Sol y alrededor los doce estudiantes-constelaciones zodiacales. El estudiante-Tierra tiene que desplazarse para obtener tanto la alternancia día/noche que el cambio de las constelaciones cada mes. El juego, a primera vista parece sencillo, pero no es fácil. Muchos estudiantes tienen dificultades para entender cómo moverse. En principio, tratan de mover la Tierra alrededor del Sol para representar la alternancia día /noche, aplicando una supuesta simetría con la rotación del sol alrededor de la Tierra. De la comparación entre los compañeros y con la ayuda de la maestra se llega a la conclusión de que la Tierra requiere, de una parte, un movimiento de rotación alrededor de sí misma, de Oeste a Este para ver el amanecer al Este y el atardecer al Oeste, y de otra parte, de una vuelta alrededor del sol para ver diferentes constelaciones detrás el sol. Se entiende que son dos puntos de vista, cinemáticamente equivalentes, para interpretar los movimientos observados del Sol, la Luna y estrellas sobre la esfera celeste. Las mismas observaciones pueden tener diferentes interpretaciones: la geocéntrica y la heliocéntrica. Aquellos que han presentado problemas, históricamente, son los planetas, pero ahora no estamos acostumbrados a observarlos regularmente y a notar su movimiento errante. Todavía se puede utilizar Stellarium para observar lo que le ocurre por ejemplo a Marte en su fase de movimiento retrógrado. Aun un juego con el cuerpo permite predecir lo que se ve desde la Tierra y lo que ocurre con el Sol con respecto al movimiento de Marte (Lanciano,

2016 p. 177).

De acuerdo con la sugerencia de Copérnico y aun solamente en el nivel cinemático, se llega a la conclusión de que, si fijamos el sistema de referencia en el Sol, los movimientos de todos los planetas son mucho más simples. Por lo tanto, es conveniente tomar el marco heliocéntrico como referencia privilegiada.

5.2. *De la Astronomía a la Física*

No sólo en este momento, sino en varios momentos mientras se realizan las diversas actividades de observación, registro y construcción de modelos, se articula con los estudiantes la necesidad de interpretación. Esto sucede porque epistemológicamente es un plano diferente, pero estrechamente relacionado con los dos primeros, hechos y lenguajes, como afirma Guidoni,

Ayudar en el juego de separar y conectar el plano de la teoría y de la experiencia, también a través del estudio de la evolución del pensamiento científico en la historia humana, es uno de los puntos clave de la enseñanza de la ciencia como cultura y manera de relacionarse con el mundo natural y social que nos rodea. Arcà, Guidoni, Mazzoli (1990)

La duda sobre si podríamos ser nosotros los que se mueven surge espontáneamente, pero acompañada por una solicitud que hacen los niños y que fue propuesta idéntica en la historia, ¿Si nos movemos porque no nos damos cuenta? ¿Porque no hay otras pruebas y percepciones directas de este movimiento? La solución cinemática de Copérnico no fue suficiente. Galileo tuvo que fundar una nueva Mecánica, formular el Principio de inercia y una primera teoría de la Relatividad para responder a esta objeción, Galilei (1638).

La conexión entre el espacio, el tiempo y el movimiento central en la Astronomía de posición asumirá cada vez aspectos más profundos y complejos, pero este tema no lo profundizamos en este nivel, pues no hace parte de este escrito la teoría de la gravitación y el estudio de los sistemas mecánicos con dos o más cuerpos, de Newton a Einstein y a los estudios más recientes de la gravedad cuántica.

Rovelli (2016)

Como hemos demostrado la interacción entre la Astronomía de posición y la Física del movimiento esta imbricada y permite dar sentido a muchas ideas de la cinemática y la dinámica que en las presentaciones tradicionales no están justificadas y resultan incomprensibles. En consecuencia, introducimos dos grandes ideas que son la base de nuestra progresión de aprendizaje y meta de nuestro camino longitudinal: no tiene sentido hablar de movimiento sin especificar el observador, el sistema de referencia; cualquier movimiento tiene que ser observado (es "aparente") y no hay marcos de referencia privilegiados y absolutos en el espacio. Además de otras ideas mecánicas como: las formas básicas de movimiento: rotación y traslación, vistas en Gagliardi & Giordano (2015); gravedad y peso estudiadas en Stein, Galili, Shur (2015); etc. más ideas fundamentales de la Física son necesarias para dar sentido a las observaciones astronómicas.

Arato de Soli (1 siglo A.C.) decía que "la noche es la sombra de la Tierra ". Para entender las observaciones y representaciones astronómicas necesitamos algunas ideas sobre luz y sombra: la luz es un ente que sale de las fuentes y se propaga (rectilíneamente) en el espacio; la luz le permite ver, pero no se ve

en su propagación, Viennot (2002); luz y sombra son sólidos, parte del espacio tridimensional; no se ven los límites de los haces de luz/sombra, solo se ven las secciones de estos espacios, las figuras de luz y sombra (la luz se ve cuando se apoya dice una niña); es importante si la fuente esta lejos (hasta el infinito) o cerca al objeto iluminado. Resulta fundamental el desarrollo de actividades prácticas para construir modelos sobre luz y sombra y la idea de rayo en el caso de la luz. El rayo es un modelo, no es algo concreto, pero se puede representar con hilos, cuerdas, brazos, como se observa en las Figuras 6a, 6b y 6c.

5.3. El marco geocéntrico global: la vista desde la Tierra

Como hemos visto en la primera fase, las observaciones desde un punto determinado de la Tierra permiten construir la idea de eje de rotación del cielo, de plano y circulo del ecuador celeste. Los registros en el observatorio cilíndrico y en el observatorio esférico muestran que a lo largo de un año la trayectoria del Sol en el cielo pasa del Norte al Sur del ecuador. ¿Qué es lo que pasa en otras partes de la tierra? ¿Qué es lo que permanece igual y lo que va cambiando?



Fig. 6a. Sombras paralelas por rayos paralelos de fuente distante representados con los brazos.



Fig. 6b. Hilos que representan los rayos del sol en diferentes momentos del día y su inclinación con respecto al plano horizontal (ángulo de la altura del sol sobre el horizonte) y longitud de las sombras en el plano

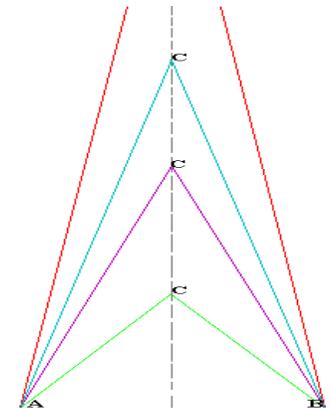


Fig.6c. Un modelo para interpretar el paralelismo de los brazos que apuntan un objeto distante. Los ángulos en la base del triángulo están aumentando progresivamente hasta 90° y los lados del triángulo tienden a hacerse paralelos cuando el vértice C se aleja de la base AB

Fuente: 6^a Curso de formación de profesores Senis Modelo y foto del autor 6c Modelo grafico por estudiantes de Colegio

[284]

Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias

e-ISSN: 2346-4712 • Vol. 16, No. 2 (may.-ago., 2021), pp. 272-293

La segunda fase tiene como objetivo dar respuesta a estas preguntas, siempre con la participación activa de los estudiantes en el diseño, la construcción y el uso de modelos y de herramientas para pasar a considerar la Tierra en su totalidad. A continuación, describimos las principales actividades de la segunda fase,

- g) La forma de la Tierra
- h) De un modelo a una herramienta: el globo terráqueo "paralelo" (GTP)
- i) Uso de modelos

Ejemplos

- g) La forma de la Tierra: reconciliar Tierra plana y Tierra esférica

Vivimos en una tierra que parece plana y firme, pero nos hablan de una Tierra esférica y en movimiento. En cuanto al movimiento, todo el trabajo de observación y las interpretaciones donde llegamos en la primera fase, han iniciado el camino hacia la posible solución de la contradicción entre lo que vemos y lo que aprendemos. En cuanto a la forma, es muy difícil tener una experiencia directa de la forma de la Tierra en su totalidad. Se pueden repetir algunas de las observaciones históricas que llevaron a esta idea, Rogers (1960) a través de películas de barcos que en el mar van hacia el horizonte y desaparecen gradualmente, o la imagen de la forma de la sombra de la Tierra sobre la Luna durante un eclipse lunar. Más recientemente tenemos fotos de la Tierra, tomadas por astronautas o satélites, desde la Luna y desde la estación espacial ISS. En general asumimos, este conocimiento y su representación a través de un modelo muy popular, el globo terráqueo.

Investigamos cómo los niños y los adultos usan la información obtenida de este modelo. Los informes de la literatura indican, en grupos de menores de edad, la presencia de un modelo así llamado dual. En la imaginación de estos niños coexistirían dos

Tierras simultáneamente: una Tierra bajo nuestros pies y una en el espacio, Vosniadou, Brewer (1992). Nuestra experiencia de investigación nos lleva a decir que este modelo, de alguna manera, se mantiene, no se supera. Es una solución a la contradicción entre lo que vemos y lo que nos enseñan, que quizás todo el mundo ha imaginado y que aún permanece implícita en muchos de nosotros. No parece que la Tierra esférica que se imagina en rotación alrededor del sol sea relacionada con la parte plana de la misma en la que vivimos, y en la Tierra cósmica sustancialmente no se visualizan habitantes.

Al mismo tiempo, el modelo de Tierra esférica en el espacio exterior coexiste con la idea de alto/bajo, horizontal/vertical absolutos.

Proponemos entonces que en la transición de la visión local a la heliocéntrica tradicional se inserte un paso intermedio que nos permita combinar las observaciones locales con las de la Tierra en su totalidad.

- h) De un modelo a una herramienta: el globo terráqueo "paralelo" (GTP)

Para saber lo que sucede en otros lugares de la Tierra son posibles varias estrategias complementarias. Una de ellas es intercambiar información directamente con estudiantes de otros lugares de la Tierra. Otra, es a través de herramientas y modelos dinámicos que hasta ahora hemos considerado estáticos como el paraguas o la esfera transparente. La tercera, al que vamos a dedicar más espacio, es el uso de un globo terráqueo liberado de su soporte tradicional, libre de tomar, en las manos del espectador, una posición homotética a la de la tierra bajo sus pies.

El sol culmina sobre el horizonte local⁵ al medio día solar verdadero. Dependiendo de la latitud del lugar siempre culmina hacia el Sur (a Milán), siempre culmina hacia el Norte (a Esquel, Patagonia, Argentina), o ambos al Norte y al Sur (a Cali por ejemplo

5 Excepto que los Polos.



Fig.7a. Recorridos del Sol a Milán o en Patagonia (a los dos lados del disco en cartón)

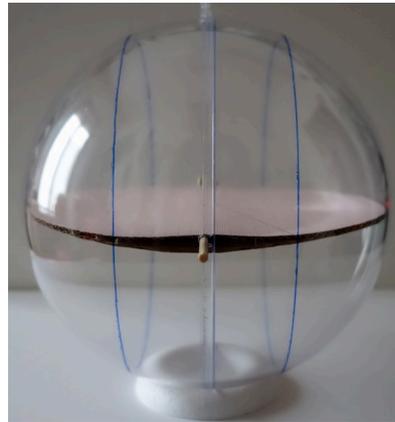


Fig.7b. al Ecuador

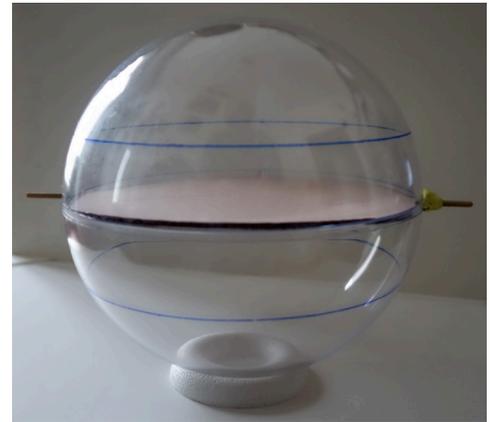


Fig. 7c. Es posible observar la singularidad de los Polos, donde el sol cuando es visible no sale y no se pone, sino sigue trayectorias paralelas al plano del horizonte.

Fuente: Modelos y fotos por el autor.

y entre los dos trópicos donde uno o dos días el año está en la cabeza del observador). Esto se puede imaginar utilizando los modelos como la sombrilla transparente o la esfera de plexiglás, extensión de la sombrilla de plástico, cambiando la inclinación del plano del observador (disco en papel) bajo la esfera celeste entera, como se observa en las Figuras 7a, 7b y 7c. Los tres círculos dibujados en la esfera de plexiglás son los caminos del sol en los días de los solsticios y equinoccios.

Y se puede confirmar haciendo un intercambio entre clases de países en diferentes latitudes.

Esto también se puede ver en la pantalla del

ordenador, usando Stellarium que simula el cielo que se observa desde diferentes lugares de la Tierra. Pero se puede experimentar directamente con la herramienta que llamamos "globo terráqueo paralelo (GTP)"⁶. El GTP permite observar desde un punto de la Tierra lo que ocurre en otros lugares y lo que ocurre a la Tierra completa.

El GTP es un globo terráqueo convencional (comercial):

⁶ Más detalles se pueden encontrar en Lanciano (2019), en el artículo de Rossi et al (2015) y en el sitio www.globolocal.net



Fig.8a. Globo inflable sin soporte tradicional



Fig. 8b. Globo Terráqueo Paralelo en Medellín, puesto al sol.

Fuente: Fotos por el autor al Norte de Italia y en el Parque Explora en Medellín.

1) Liberado del soporte fijo en el que está sujeto. Fig.8a.

2) Colocado de modo que su ciudad o lugar de observación se ubique en el punto "más alto" del planeta, Fig.8b.

3) Puesto al Sol cuidando de que las direcciones coincidan, el polo norte hacia el norte, y viceversa, el polo sur del GTP hacia el sur, dependiendo de la latitud del lugar de observación, la dirección en que se halle el eje del planeta se oriente en la dirección Norte/Sur del lugar. Ver Fig.9.

Usando un poco de material adhesivo (como la plastilina), se pueden fijar unos palitos (clavos o alfileres) perpendiculares a la superficie del globo a lo largo del ecuador, los trópicos, meridiano y paralelo del observador, etc. Así, se visualiza bien que estamos pegados a la tierra por la gravedad (aquí representada por la plastilina), nuestra cabeza siempre está "arriba", donde sea que estemos, y nuestros pies siempre están "abajo". Cada palito representa una persona de pie sobre la tierra en la posición vertical en su lugar.

Si la posición y orientación del globo se toman fijos, en el día el globo está iluminado por el Sol como ocurre en la propia Tierra y los palos son iluminados por el Sol igual que los gnómones verticales locales.



Fig. 9. Utilizando un transportador en la base donde está clavada la varilla que porta la esfera, se puede comprobar que el ángulo de su "inclinación" respecto al plano horizontal, corresponde al de la latitud geográfica del lugar ubicado por encima del globo. En el caso de Milán 45° N. Fuente: Foto por el autor de un globo paralelo de la Universidad de Milano-Bicocca.

Una vez que se orienta el globo paralelo al exterior: el palito que representa el observador es paralelo a la dirección de la posición del observador; el plano tangente al globo en la posición del observador es paralelo a su plano horizontal; el eje del globo es paralelo al de la Tierra. Por estas razones llamamos el instrumento Globo terráqueo paralelo.⁷

Sugerimos observar el GTP al menos a lo largo de los días de equinoccio y solsticio y tres veces al día: antes, durante y después del mediodía solar local. El modelo se transforma en un instrumento que se puede utilizar mirando a dos variables: la posición del círculo terminador (entre luz y sombra) que corta la superficie del globo y el patrón de sombras de los palitos. En el primer caso, estamos mirando a la Tierra como un todo. En el segundo, la atención se centra en las condiciones particulares de algunos puntos de su superficie.

Analizando la evolución temporal de las variables, podemos obtener información sobre los cambios de los hemisferios⁸ iluminados y los cambios del recorrido del sol en diferentes latitudes. La observación instantánea del globo paralelo permite identificar los lugares en los que actualmente es de día o de noche y donde se acaba ocurriendo la transición de la noche al día o del día a la noche. También ofrece la oportunidad de obtener simultáneamente información acerca de la posición del Sol a lo largo de los paralelos o los meridianos.

En particular, permite buscar donde es mediodía solar (sombras a lo largo del meridiano) inferir como la longitud de la sombra y por lo tanto la inclinación de los rayos solares va cambiando por efecto de la diferente posición de los horizontes locales (planos tangentes a la esfera) en función de la latitud. El palito que no tiene sombra permite buscar los

⁷ Matemáticamente, sería más correcto decir que el globo y la Tierra son homotéticas.

⁸ En la aproximación perceptiva el haz de luz que viene del Sol consiste en rayos prácticamente paralelos (un cilindro de luz) y se puede considerar que la parte de la Tierra iluminada es siempre media esfera. La desviación del paralelismo de 0,5 da lugar a una iluminación de la Tierra ligeramente mayor de la mitad, efecto que puede ser incluso más evidente en el GTP^o (hay que imaginar conos de luz con un ángulo de vértice de medio grado). En la escala astronómica que incluye, por ejemplo, la Luna y los eclipses, el hecho de aproximar el haz de luz solar con un cilindro ya no es aceptable.



Fig. 10 a y 10 b. Fotos desde el Norte por la tarde y desde el Sur en la mañana del solsticio de junio de un GTP en el Jardín Astronómico de Giocheria Laboratori cerca de Milan. Nótese el terminador prácticamente tangente a los círculos polares ártico y antártico. Las sombras de los palitos van hacia el oeste donde es mañana. Fuente: Fotos por el autor en el Jardín astronómico de Giocheria laboratori.

lugares donde el Sol está actualmente culminando en el Zenit. Estos se encuentran en el ecuador en los días de los equinoccios, en los trópicos en los días de solsticio. En otros días pueden tener el sol en la cabeza sólo palitos colocados entre los dos trópicos. Por lo tanto, la radiación solar es perpendicular al Trópico de Cáncer en junio, llega de forma perpendicular al ecuador en los equinoccios y al Trópico de Capricornio en el solsticio de diciembre. El sol pasa de Norte a Sur del ecuador como prevé la esfera de plexiglás. Se puede buscar la duración del

día en una cierta latitud desde la parte iluminada de su paralelo y notar que en algunos lugares (Norte y Sur de los trópicos) esta variación es grande. En la zona tropical es mucho menor. El círculo terminador siempre corta el ecuador en la mitad.

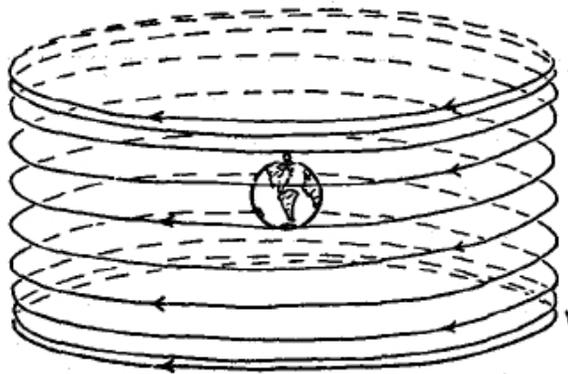


Fig. 11 a. La espiral de círculos del sol en un semestre (Rogers, 1960, p. 215) El Polo Norte está arriba en el dibujo.

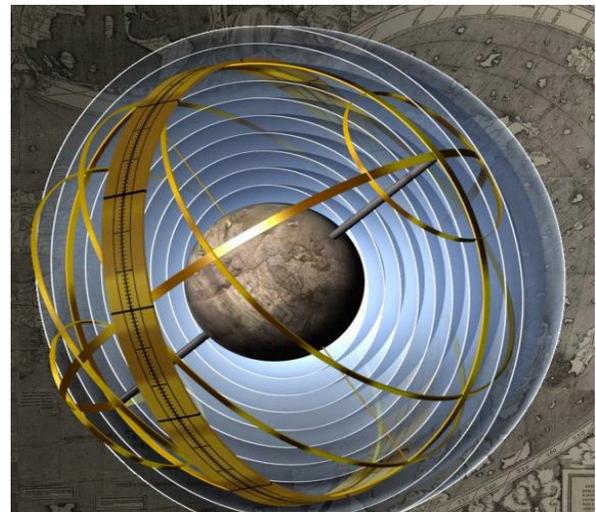


Fig. 11 b. Esfera de Waldseemüller (1507) sitio web del Museo Galileo en Florencia. En la esfera celeste alrededor de la Tierra los círculos delgados representan los círculos celestes correspondientes a los círculos polares, los trópicos y el ecuador. La banda más ancha representa la banda del zodiaco y la trayectoria anual del sol entre las estrellas.

Fuente: 11a Rogers, 1960, p. 215

11b <https://mostre.museogalileo.it/waldseemuller/iwal.php?c%5B%5D=55316>

La posición del círculo terminador indica la estación: pasa a través de los dos polos en los días de los equinoccios y es tangente al círculo polar ártico y al antártico en los dos solsticios. Podemos imaginar que en un semestre el Sol alrededor de la Tierra recorre una trayectoria helicoidal al pasar de un círculo paralelo al plano que contiene el Trópico de Cáncer hasta el que contiene el Trópico de Capricornio pasando de Norte a Sur del plano ecuatorial, ver Fig. 11a. El recorrido por el Sol, en un semestre, sugiere imaginar la órbita anual del Sol en un plano (de la eclíptica) inclinado con respecto al eje de rotación del cielo, ver Fig. 11b.

El marco de referencia heliocéntrico: la vista desde el sol

A la esfera del Sol, la Luna y las estrellas, los antiguos trataron de añadir las esferas planetarias, pero su movimiento errante fue difícil de conciliar con la representación a través de círculos y esferas, en aquel momento, las únicas figuras consideradas dignas de representar la perfección de los cielos. La representación se volvió más y más compleja con esferas que se deslizan sobre esferas y otras esferas. Con Copérnico y Galileo surge la necesidad de un cambio de marco de referencia y empieza la revolución copernicana.

En la tercera fase nuestro recorrido también propone cambiar la perspectiva de geocéntrica a heliocéntrica, en consonancia con las razones interpretativas ya descritas en la fase 1. Pero tenemos que llegar a una visión heliocéntrica consistente con la conclusión de que no hay direcciones absolutas o preferentes en el espacio y con la visión de la Tierra por el GTP. Por lo tanto, son importantes algunos cambios en la enseñanza tradicional.

Tradicionalmente la eclíptica siempre se representa con el Norte arriba y con la Tierra que gira en sentido anti-horario alrededor del Sol. Esta representación supuestamente universal es la visión desde el Norte y transmite no solo una visión científica sino una visión política y económica, consistente con la supremacía histórica de algunos países del hemisferio

Norte sobre los ecuatoriales y del hemisferio Sur.

Ya aprendimos que no hay horizontal/vertical en el espacio, ni arriba / abajo, ni derecha / izquierda. Entendimos que el plano de la eclíptica, que contiene la órbita anual de la Tierra y todos los planetas más grandes alrededor del Sol, debe estar inclinado con respecto al eje de rotación de la Tierra. Pero no tiene sentido pensar que estos se encuentran en una posición particular en el espacio.

Si se deja a los estudiantes libres de construir sus propias representaciones, la visión tradicional revisitada emerge de forma espontánea. Encontramos, por ejemplo, que un niño de 13 años, con una gran habilidad para representar esta situación en el espacio, propuso una representación dinámica utilizando objetos y su cuerpo.

Sosteniendo en una mano el globo con el eje según la vertical local la deslizó en una órbita circular inclinada en relación al eje Norte/Sur del globo con el Sol al centro. Así, muy fácilmente se visualizaba que el Sol debe pasar de estar al Sur del ecuador, a estar justo a su nivel y luego a estar al Norte del ecuador. Para el estudiante su modelo, sustancialmente idéntico a la representación tradicional, fue mucho más efectiva para representar su conocimiento y bastante convincente para los demás estudiantes. (fig.12) Todos podemos imaginar la Tierra en el espacio inclinada como queremos, por ejemplo, homotética a la que está bajo nuestros pies, con nosotros encima al mundo.

A continuación, se puede mostrar la posición del eje con respecto a nosotros (inclinada de un ángulo igual a nuestra latitud con respecto a la dirección horizontal local) y, finalmente, representar el plano de la eclíptica inclinado en el espacio con respecto a este eje.

5.5. Es necesario un tiempo largo

Las prácticas realizadas tanto en la historia como en

la trayectoria educativa que sugerimos, son experimentadas por los estudiantes como protagonistas, si se deja un largo tiempo para observar, construir modelos interpretativos, formular sus propias teorías, compararlas con las de los demás y con los hechos conocidos, predecir hechos todavía no observados, argumentar a favor de una interpretación u otra.

En un solo nivel de la escuela todo esto sería imposible, pero durante un período de tiempo largo, a través de diferentes niveles escolares, esto puede y debe ser parte de la educación científica y la cívica. En la formación de los docentes les ofrecemos seguir, incluso en un tiempo corto y muy concentrado, el mismo camino que se espera llevarán cuando enseñen en educación básica y secundaria (estudiantes de 3 a 11 años).

Muchos de nuestros estudiantes universitarios, maestros en formación, llegaron activamente a descubrimientos personales de nociones que ya habían estudiado como abstractas en los grados de la escuela anterior. Por ejemplo, construyendo modelos para representar el haz de rayos paralelos que siempre alcanzan la Tierra (de la misma manera en diferentes puntos de su órbita correspondientes a diferentes épocas del año) se dieron cuenta que, para reproducir los cambios de iluminación de la Tierra observados con el GTP, el eje de rotación de

la Tierra debe apuntar siempre hacia el mismo punto en el espacio. Y llegaron a una interpretación de las estaciones muy diferentes a la inicial en términos de distancias/cercanías. Ver Fig. 12 y 13.

Los resultados en estos años han sido todos muy positivos. Sin embargo, dado que nunca se probó todo el camino con un núcleo estable de estudiantes durante un largo número de años, no podemos hablar realmente de evaluación de la efectividad de nuestra propuesta.

6. Conclusiones y perspectivas

A pesar de la exposición bastante detallada en algunas secciones del presente artículo no fue posible hacer frente a algunos de los aspectos importantes de la Astronomía del sistema solar como la Luna o los Planetas.

La propuesta, al menos en términos generales, no es una secuencia definida a seguir linealmente en pasos consecutivos. Se debe entender como un corredor conceptual bastante amplio dentro del cual diferentes trayectorias son posibles. Confrey (2006) Eligiendo los puntos principales de contenido y método, cognitivos y meta-cognitivos, emocionales y sociales, cada maestro/a puede usar este corredor teórico para diseñar su propia trayectoria de enseñanza y para conducir a los estudiantes a construir

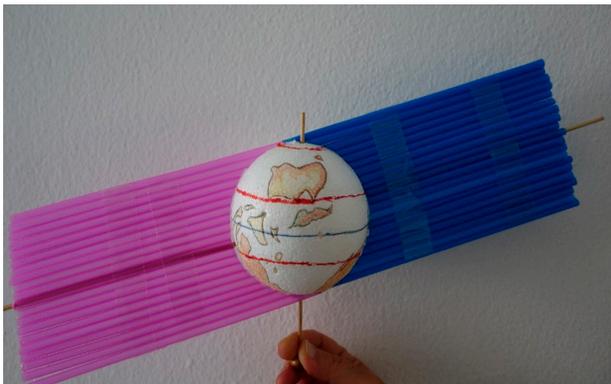


Fig. 12a. Un modelo que visualiza la inclinación recíproca del eje de la Tierra y del plano de la radiación solar. La pajita central del haz azul (a la izquierda) es perpendicular al trópico de Capricornio, la roja (a la derecha) al trópico de Cáncer.

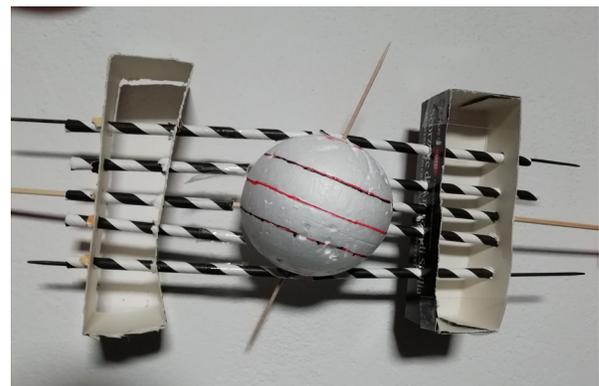


Fig. 12b. La Visión geocéntrica se puede orientar como estamos acostumbrados, con el eje de la Tierra inclinado por respecto a la radiación solar representada horizontalmente (plano de la eclíptica)

Fuente: Foto por el autor de globos y círculos dibujados por futuras maestras de Primaria

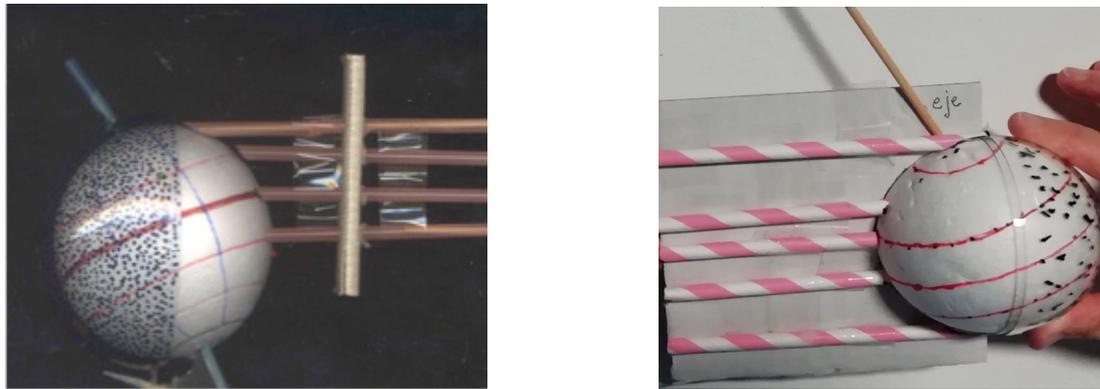


Fig. 13 a y 13 b. Modelo que representa como llega la luz solar en los días de los solsticios y que diferentes mitades de la esfera están iluminadas. La vista heliocéntrica tradicional se obtiene imaginando colocar dos modelos geocéntricos uno al lado del otro y el sol en la parte central. El mismo modelo vale para el Norte como para el Sur, invirtiendo imágenes y estaciones. Fuente: Modelos por una futura maestra de Primaria (R. Esposito) para su examen de Didáctica de la Astronomía.

su propio camino de aprendizaje. Estas trayectorias deben tocar los puntos clave elegidos y quizás indicar que otros, imprevistos, son fundamentales para una comprensión significativa de los estudiantes. Por último, nos disculpamos por haber solamente hecho alusión a cómo podemos adaptar a la zona ecuatorial algunas de las actividades diseñadas para Milán y Roma o para la Argentina y la Patagonia en particular, que son casi a la misma latitud, aunque, respectivamente Norte y Sur. Esperamos que pronto investigadores y estudiantes de estas áreas puedan contribuir a enriquecer observaciones y herramientas útiles para su punto de vista geográfico y cultural.

Agradecimientos

Gracias a todos los estudiantes y sus profesores, los maestros en formación y los conductores de talleres dedicados a ellos. Sería imposible nombrarlos a todos, pero un agradecimiento especial a Monica Onida, Sabrina Rossi y Marco Testa, infatigables colaboradores. Gracias al grupo de Pedagogía del Cielo del MCE (Movimiento de cooperación educativa) con que se realizaron también muchas experiencias de campo. Un agradecimiento especial a Olga Lucía Castiblanco Abril por su invaluable trabajo en la revisión del texto.

6. Referencias

- ARCÀ M.; GUIDONI P. & MAZZOLI P. (1990) Enseñar Ciencias. Grupo Planeta (GBS).
- BAILEY J. M. & SLATER T. F. (2004) A review of Astronomy Education Review. *The Astronomy Education Review*, Issue 2, Volume 2, pp.20-45.
- CAMINO, N. (2011). La didáctica de la astronomía como campo de investigación e innovación educativas. I Simpósio Nacional de Educação Em Astronomia – Rio de Janeiro, 1–13.
- CAMINO, N. & TERMINIELLO, C. (2014) Escolas a céu aberto: experiências possíveis sobre Didática da Astronomia em escolas públicas. *Ensino de Astronomia na escola: concepções, ideias e práticas*. Uberlândia/MG-Brasil: EDUFU pp. 423-442
- CAMINO, N.; NARDI, R.; PEDREROS, R.; GARCIA, E.; CASTIBLANCO, O. (2016) Retos de la enseñanza de la Astronomía en Latinoamérica. Editorial. *Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*. Vol. 11, No. 1 (ene-jun 2016). pp 5-6.
- CAMINO, N (2018) Reflexiones sobre la enseñanza de la Astronomía *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias* Vol. 13, No. 2 (jul-dic 2018), pp. 193-194
- CANDAMIL N. M. & ROMERO-CHACON A. E.

- (2019) La enseñanza de la Astronomía como medio para articular la formación científica y la formación ciudadana: una propuesta fundamentada en reflexiones metacientíficas *Revista Científica*, Numero especial BOGOTÁ, D.C.
- CLEMENT J.; BROWN D.E. & ZIETSMAN (1989) Not all preconceptions are misconceptions: finding “anchoring conceptions” for grounding instruction on students’ intuitions *International Journal of Science Education* V. 11, special edition, 554-565
- CONFREY, J. (2006) The evolution of design studies as methodology in Sawyer K. Ed. *The Cambridge Handbook of The Learning Sciences*, Cambridge University Press.
- COPERNICO, N. (1543) *De revolutionibus orbium coelestium*, I, cap. V
- DiSESSA A. A. (1988). Knowledge in pieces. In: Forman G., Pufall P. (Eds.). *Constructivism in the computer age*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates. 49-70.
- GAGLIARDI, M. & Giordano (2004). Luce e Visione. Material online, Disponible en (<http://www.didascienze.formazione.unimib.it/Lucevisione/libretto.pdf>)
- GAGLIARDI, M. & Giordano (2015) *Metodi e strumenti per l'insegnamento e l'apprendimento della Física*. Edises, Napoli.
- GALILEO (1638). *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*.
- GUATAQUIRÁ, J.E. & CASTIBLANCO, O.L. (2020) ¿Qué imaginarios tienen los niños sobre los cuerpos dentro y fuera del sistema solar y sus efectos en la Tierra? *Scientia et Technica* Año XXV, v.25, n.02.
- GUIDONI, P. & LEVRINI, O. (2008) *Approcci e proposte per l'insegnamento-apprendimento della fisica a livello pre-universitario dal Progetto PRINF21*. Forum Edizione.
- LANCIANO, N. (1989) Ver y hablar como Tolomeo y pensar como Copérnico. *Revista Enseñanza de las Ciencias*. v 7 (2), 173-182
- LANCIANO, N. (2014) A complexidade e a dialética de um ponto de vista local e de um ponto de vista global em Astronomia. *Ensino de Astronomia na escola: concepções, ideias e práticas*, Uberlândia: EDUFU—Editora da Universidade Federal de Uberlândia pp 167–193
- LANCIANO, N. (2014) *Ensino de Astronomia na Escola* Editora Átomo (Campinas) vol. 1, p 25.
- LANCIANO, N. (2019) *Strumenti per il Giardino del cielo*, Asterios y ediciones previas.
- LELLIOTT, A. & ROLLNICK, M. (2010) Big ideas: a review of astronomy education research 1974–2008, *Int. J. Sci. Educ.* 32, 1771–99
- LEVRINI, O.; ALTAMORE, A.; BALZANO, E.; BERTOZZI, E.; GAGLIARDI, M.; GIORDANO, E.; GUIDONI, P.; RINAUDO, G.; TARSITANI, C. (2009). Looking at the physics curriculum in terms of framing ideas. *Proc. GIREP—MPTL*, Nicosia, Cyprus, 18–22 August 2008
- NARDI R.; FERNANDES TC; LANCIANO N. (2020) Research about the adaptation process of Astronomy didactic material – the Diary of Sky – from the context of the Northern Hemisphere to the Southern Hemisphere. *International Conference on Physics Education (ICPE) 2018*, J. Phys.: Conf. Ser. 1512 012034
- NRC-NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington D.C.: National Academies Press.
- NRC-NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington D.C.: National Academies Press
- OSPINA, W. (2006). *La escuela de la noche - Reflexiones sobre la educación en Conformación de un nuevo ethos cultural* - Ed. Charlie´s -Bogotá.
- PADALKAR, S. & RAMADAS, J. (2007) Modeling the round Earth through diagrams *Astron. Educ. Rev.* 6 54–74
- PIRAGUA L. (2015) *El verdadero tesoro de la escuela*, Tesis Doctoral no publicada, Milano-Bicocca
- PLUMMER, J. D. (2012) Challenges in Defining and Validating an Astronomy Learning Progression. In: ALONZO A. WENT, G. A. (Eds). *Learning Progressions in Science. Current Challenges and*

- Future Directions. Springer, New York.
- PSSC (1956) Physical Science Study Committee-Massachusetts Institute of Tec. Boston Marcos de referencia https://www.youtube.com/watch?v=W2QU_WSaZhM
- ROGERS, E. M. (1960) Physics for the Enquiring Mind. University Press, Oxford, Princeton <https://ia801408.us.archive.org/22/items/PhysicsForTheEnquiringMind/Rogers-PhysicsForTheEnquiringMind.pdf>
- ROSSI, S.; GIORDANO, E.; LANCIANO, N. (2015) The parallel globe: A powerful instrument to perform investigations of Earth's illumination. Physics Education. V 50(1), 32-41
- ROSSI, S.; GIORDANO, E.; LANCIANO, N. (2016) The "Sky on Earth" Project: A Synergy between Formal and Informal Astronomy Education. Physics Education, V 51 (5) 055003
- ROVELLI C. (2015) La realidad no es lo que parece: La estructura elemental de las cosas Tusquets Editores, Barcelona.
- STEIN, H.; GALILI, I.; SCHUR, Y. (2015). Teaching a new conceptual framework of weight and gravitation in middle school. Journal of Research in Science Teaching, 52(9), 1234-1268.
- VIENNOT, L. (2002) Enseigner la Physique, Bruxelles: De Boeck.
- VOSNIADOU, S.; BREWER, W.F. (1992) Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. Cognitive psychology. V24 (4), 535-585
- WALDSEEMÜLLER UNIVERSALIS COSMOGRAPHIA (1507) Disponible en (<http://mostre.museogalileo.it/waldseemuller>)

