

# CONSTRUYENDO SENTIDO SOBRE LAS LÍNEAS CARTOGRÁFICAS NOTABLES DEL PLANISFERIO: ASTRONOMÍA A RAS DEL SUELO Y CARTOGRAFÍA ORIENTADA.

Patricia A. Knopoff<sup>1,2</sup>  
Daniel O. Badagnani<sup>1,3</sup>  
Emilio Lacambra<sup>1,4</sup>  
Egly Norka Llerena Suster<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo Choiols de Astronomía a Ras del Suelo

<sup>2</sup>UNITEC, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata

<sup>3</sup>Espacio Pedagógico, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP

<sup>4</sup>Grupo de Didáctica de las Ciencias

## RESUMEN

La enseñanza de las líneas cartográficas notables en la currícula oficial de la educación obligatoria se coloca en situación de riesgo al producir aprendizajes memorísticos que no generan conceptualizaciones significativas. De esta forma, los términos “Ecuador”, “Trópico” o “Polo” son reconocidos fácilmente por la mayor parte de la ciudadanía, pero una indagación más profunda arroja como resultado que son conceptos vacíos de contenido y que no se alcanzan a relacionar con los fenómenos astronómicos que les dan origen.

La Astronomía a Ras del Suelo facilita la construcción de conceptualizaciones adecuadas de estos términos a partir de actividades de experienciación con dispositivos desde un abordaje fenomenológico, sin necesidad de recurrir a modelos explicativos complejos de los movimientos relativos del sistema Tierra-Sol. La construcción de modelizaciones puede realizarse colectivamente y con posterioridad a la introducción de los elementos cartográficos y geográficos mencionados.

La observación precisa y detallada de solsticios y equinoccios permite comprender la situación lumínica del planeta Tierra en cada uno de ellos, a partir del registro y marcación de las líneas cartográficas notables sobre la superficie de la Esfera Lisa. El Globo Terráqueo Paralelo acompaña la conceptualización y se convierte en la consecuencia natural de una marcación de periodicidad anual sobre la Esfera. .

El pasaje del Globo Paralelo al planisferio, invita a la discusión sobre la necesidad de trabajar con una proyección cartográfica equiareal y centrada en el propio país, -tal como el Planisferio Aitoff centrado en el meridiano 69°O, en nuestro caso-, y conlleva naturalmente al uso de la cartografía orientada, como posición más adecuada para el uso del planisferio en la escuela.

La deconstrucción de la cartografía, así como la construcción de modelos propios por parte de estudiantes, posibilita la formación crítica en conjunto con la descolonización de la mirada sobre nuestro territorio.

## **ABSTRACT**

The teaching of the noticeable lines in the official curriculum of compulsory education is placed at risk by producing rote learning that do not generate significant conceptualizations. Thus, the terms "Equator", "Tropic" or "Pole" are easily recognized by most people, but further research indicates that they are empty concepts that cannot be related to the astronomical events that give rise to them.

Astronomy at ground level provides adequate conceptualizations of these terms from *experienciación* activities with a smooth sphere, a globe and a world map, from a phenomenological study, without recourse to explanatory models of the relative motions of the Earth-Sun system. Construction of models can be performed collectively and after the introduction of the cartographic and geographic features previously mentioned.

Precise and detailed observation of solstices and equinoxes allows understanding of the illumination of the earth's surface in each of them, after register and marking of noticeable lines on the surface of the smooth sphere. The Parallel Globe accompanies the conceptualization and becomes the natural consequence of a yearly marking on the Sphere.

The transition from the Parallel Globe to the planisphere map stimulates discussions on the need to work with an equiareal map projection centered in the own country, such as Aitoff's Planisphere centered on the meridian 69 ° W, in our case, and carries naturally to the use of oriented mapping as a better position to use the planisphere map in school.

Deconstructing mapping and building own models enable critical training in conjunction with the decolonization of the look on our territory.

**Palabras clave:** Astronomía a ras del suelo - Esfera Lisa - Globo Terráqueo paralelo - Líneas cartográficas notables del Planisferio - Cartografía orientada -

# CONSTRUYENDO SENTIDO SOBRE LAS LÍNEAS CARTOGRÁFICAS NOTABLES DEL PLANISFERIO: ASTRONOMÍA A RAS DEL SUELO Y CARTOGRAFÍA ORIENTADA.

Patricia A. Knopoff<sup>1,2</sup>  
Daniel O. Badagnani<sup>1,3</sup>  
Emilio Lacambra<sup>1,4</sup>  
Egly Norka Llerena Suster<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo Choiols de Astronomía a Ras del Suelo

<sup>2</sup>UNITEC, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata

<sup>3</sup>Espacio Pedagógico, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP

<sup>4</sup>Grupo de Didáctica de las Ciencias

## 1. OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS AL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DEL ECUADOR, LOS TRÓPICOS Y LOS CÍRCULOS POLARES

La comprensión significativa de las definiciones formales de Ecuador, Trópicos, Polos y Círculos Polares requiere dominar el uso de un modelo del movimiento del sistema Tierra-Sol altamente complejo, sin el cual éstas (en especial los Trópicos y los Círculos Polares) aparecen como construcciones arbitrarias. Por ejemplo, se requiere poder cambiar de marco de referencia usando alternativamente la Tierra y el Sistema Solar, y relacionando lo que se ve desde cada uno, siendo ésta una habilidad rara incluso en adultos (Hestenes y cols., 1992). También se requiere de un uso muy sofisticado de geometría tridimensional.

Los planisferios y los globos terráqueos se fueron desarrollando en paralelo con el modelo heliocéntrico y la mecánica clásica. La justificación última de una afirmación como “*en realidad la Tierra orbita alrededor del Sol*” sólo puede darse desde la Mecánica, con el entendimiento de que se requiere un marco inercial de referencia para relacionar los movimientos planetarios con sus interacciones gravitatorias. Desde la perspectiva de la descripción del movimiento, un modelo geocéntrico es perfectamente admisible, y no hay manera de que un niño o adolescente pueda aceptar la superioridad del modelo heliocéntrico como no sea por mero argumento de autoridad (Maturana, 2011).

Veamos como ejemplo todo el conocimiento que subyace a la explicación convencional de las estaciones. En primer lugar, se requiere de la aceptación de un marco de referencia en el que la Tierra se mueve, compatibilizándolo con nuestra experiencia cotidiana de que “estamos quietos” (es decir, debemos poder pasar del marco terrestre al solar). Se debe reconocer, además, que la órbita terrestre es aproximadamente circular, y un movimiento de rotación en que el eje permanece sobre líneas siempre paralelas en el espacio tridimensional, lo cual requiere no sólo sofisticación geométrica sino también conocimientos sobre giróscopos (propios de la mecánica de cuerpos rígidos). Por otro lado, se necesita comprender que, pese a que imaginamos que la Tierra rodea al Sol a lo largo del año, esa órbita es en realidad tan grande que, visto desde la Tierra, el Sol parece estar “en el infinito”. Eso implica que “los rayos de luz” (conceptualización que tampoco es trivial) llegan paralelos, lo cual supone pasos al límite difíciles de conciliar. Aún más, en manuales y textos es habitual encontrar imágenes, que pretenden ser explicativas, donde puede verse la luz radiando desde el Sol e incidiendo paralelamente, en figuras contiguas o, inclusive, en la misma figura. No es posible establecer una proporción adecuada tal que se pueda hacer la presunción del paralelismo de los rayos de luz solar, a la vez que se grafique en un mismo esquema al Sol y a la Tierra, ya que la presunción mencionada requiere de este paso al límite (“el sol se encuentra en el infinito”), modelo que es contradictorio con cualquier otro que postule una revolución del planeta alrededor de este cuerpo central. Finalmente, se requiere de una

conceptualización de flujo que permita relacionar la intensidad de luz recibida con la oblicuidad de incidencia de los rayos de luz, y relacionar esto último con cuestiones térmicas. Sostenemos, entonces, que se trata de un gran bagaje de conocimientos que implica la coordinación de conceptualizaciones matemáticas diversas con ideas físicas sofisticadas, que se van desarrollando lentamente a lo largo de la vida del individuo (Vosniadou, 1994), y por lo tanto no se puede pensar en estas ideas como un requisito previo para el aprendizaje de cuestiones geográficas. Por el contrario, las ideas en geografía podrían ayudar también en el desarrollo de otras ideas científicas, en forma dialéctica, de un modo similar al apreciable en la propia historia de las ciencias.

Para apreciar las dificultades a las que se enfrentan estudiantes y docentes para comprender estas temáticas, cabe señalar que existen numerosos estudios que muestran cómo los conceptos evolucionan lentamente en los estudiantes, avanzando a partir de los conocimientos de sentido común e incorporando a estos la nueva información sin desterrar los modelos más ingenuos. En el campo del llamado "cambio conceptual" se ha estudiado esta situación para los sucesivos modelos de los niños para incorporar el concepto de redondez de la Tierra (Vosniadou y Brewer, 1992, 1994). De acuerdo a estos trabajos, los estudiantes incorporan la nueva información generando modelos sintéticos, que están a medio camino entre la idea de sentido común previa a la instrucción y el modelo que se pretende estudiar. Muchas veces, esos modelos producen respuestas adecuadas, que hacen pensar al docente que la idea se incorporó correctamente. Peor aún, como muestra Camino (1995), muchos docentes de niveles inicial y medio tienen conceptualizaciones sobre el sistema Tierra-Sol sumamente ingenuas e inapropiadas, como por ejemplo que las estaciones se deben a una distancia cambiante al Sol, que el día y la noche se deben a que la Tierra orbita al Sol en 24 horas o que la Luna se halla siempre diametralmente opuesta al Sol respecto de la Tierra. Por lo tanto ni siquiera la mayor parte de los docentes estará en condiciones de dar un significado a los Trópicos o a los Círculos Polares desde un modelo del sistema Tierra-Sol adecuado y consistente.

La propuesta presentada aquí consiste en introducir los conceptos de Ecuador, Polos, Trópicos y Círculos Polares fenomenológicamente, relacionándolos con la iluminación del Sol por experiencia directa. Se dan definiciones estrictamente operacionales de estos y otros conceptos, de modo que los estudiantes puedan -con relativa libertad- desarrollar modelos explicativos para dar cuenta de tales observaciones, que sean de construcción propia y que por ello no necesariamente coincidirán con el saber disciplinar. Esta propuesta, articulada con otras áreas curriculares, pretende incentivar la construcción progresiva (y colectiva) de concepciones crecientemente sofisticadas, siempre significativas, por oposición al aprendizaje por autoridad. Los propios docentes pueden emprender con libertad un camino análogo una vez liberados del rol de poseedores del monopolio de la explicación "científicamente correcta".

## **2. EL TRABAJO CON ESFERA LISA COMO ALTERNATIVA DIDÁCTICA: CONSTRUCCIÓN COLECTIVA, LIBERACIÓN DEL GLOBO TERRÁQUEO Y CARTOGRAFÍA ORIENTADA.**

Los obstáculos epistemológicos que hemos mencionado podrían eludirse mediante el uso de dispositivos didácticos que posibiliten el diseño de secuencias de situaciones que promuevan la conceptualización de fenómenos complejos del ámbito de lo astronómico, a partir de eventos físicos en el ámbito de lo local.

La Astronomía a Ras del Suelo es una propuesta que intenta generar acciones sistemáticas en favor de una Didáctica de la Astronomía, orientada a docentes que deban abordar los contenidos conceptuales que hacen a la comprensión de las consecuencias de los fenómenos astronómicos en los que se encuentra involucrada la Tierra. Se propone abandonar la clase magistral y los aprendizajes memorísticos, fomentando el estudio de los fenómenos astronómicos por observación directa.

En tanto que el conocimiento científico es un constructo consecuente de la actividad humana comunitaria, y que este conocimiento surge en el consenso de la comunidad de referencia, no se avala la pretensión de propiedad del conocimiento, ni tampoco su validación por autoridad. El proceso de enseñanza-aprendizaje no consiste en una transferencia sino que es inherentemente creativo. En consecuencia, se considera que la apropiación del conocimiento por parte del ciudadano en formación

debe ser un proceso en el cual éste sea un actor capaz de construir su conocimiento, contextualizándolo y reconociendo que no se trata de verdades objetivas sino de afirmaciones cuestionables. Valoramos, más que la incorporación de datos duros, una comprensión epistemológica profunda de la actividad científica.

La apropiación del conocimiento científico por parte de los ciudadanos en ejercicio o en formación debe ser parte de un proceso similar al de la propia comunidad científica, para lo cual se hace imprescindible propiciar la formación de modelos explicativos por parte de cada individuo, en pleno ejercicio de sus capacidades críticas.

Es por esto que se propone una didáctica que favorezca la construcción de conceptualizaciones adecuadas, a la vez que se incentive el pensamiento y el posicionamiento crítico frente a toda cuestión que se proponga. Ésta es una didáctica basada en la construcción de modelos explicativos propios por parte de los y las estudiantes, en actitud emancipatoria de tutelas o “patrones”.

En este trabajo en particular proponemos el uso de un dispositivo denominado *esfera lisa*, mediante el cual puede estudiarse el estado lumínico del planeta en tiempo real mediante observaciones directas. De esta manera, se pueden determinar y justificar astronómicamente los Polos y el Ecuador, en el Equinoccio; así como los Círculos Polares y Trópicos, en los Solsticios. A continuación, describimos el fundamento de su uso, el procedimiento de trabajo y las cuestiones que permite discutir.

## 2.1 ESFERA LISA.

La esfera lisa consiste en una esfera rígida, sin inscripciones, que se coloca sobre una superficie de forma tal que se mantenga sin movimiento durante todo el período en el cual se va a realizar la observación (ver figura 1).

Podemos modelizar a la esfera lisa y al planeta Tierra como cuerpos esféricos que están iluminados por la misma fuente de luz (el Sol). La distancia de esta fuente a los cuerpos que ilumina es tan grande que el tamaño de los mismos es despreciable con respecto a dicha distancia. Postulamos que se puede establecer una correspondencia biunívoca entre la esfera lisa y el planeta, de forma que los estados de iluminación de ambos se correspondan. Ambas esferas conformarán así un sistema homotético que sustenta teóricamente lo afirmado.



Fig.1 - Esferalisa

El estado de iluminación de una esfera estática, sin puntos de referencia en su superficie, no aportaría ninguna información, debido a la fuerte simetría central de la esfera como cuerpo. Consideramos al planeta, así como a su representación –la esfera lisa–, como una esfera no estática, dado que presenta un movimiento de rotación alrededor de un único eje. Este movimiento produce que el estado de iluminación del planeta sea un estado con variabilidad temporal, es decir un estado dinámico dependiente del tiempo, exponiendo distintas partes de su superficie a la luz directa del Sol, lo que da a su vez una variabilidad espacial a la relación luz-no luz sobre el planeta. Además, al realizar este movimiento de rotación, el planeta arrastra consigo a la esfera lisa, ya que ésta se encuentra fijada a la superficie del planeta. Este movimiento conjunto de las dos esferas implica que la rotación completa del planeta produce una rotación completa de la esfera lisa. La esfera lisa no rota sobre su eje sino que esta rotación completa se produce respecto del eje del planeta. Sin embargo, los períodos de rotación son iguales y al cabo de una rotación completa (un giro de 360° sobre el eje del planeta), ambas esferas se encontrarán en la posición que tenían al iniciar el movimiento. Con respecto a las estrellas, es posible considerar que la esfera lisa también gira sobre su propio eje, dado que los tamaños de ambas esferas son despreciables. En cada instante de la rotación del planeta –y en tanto la esfera lisa se encuentre en la mitad iluminada del planeta– el estado de iluminación de ambas esferas será similar.

Tomando en cuenta todo lo anterior, se deduce que todos los fenómenos que se observen sobre la esfera lisa, debido a su estado de iluminación, serán idénticos a lo que se observaría desde el megaspacio (Lanciano y Camino, 2008) respecto del estado de iluminación del planeta. De tal forma, la

observación de la esfera lisa informará del estado de iluminación del planeta, en tiempo real. No nos es posible observar, determinar o analizar de forma directa el estado de iluminación del planeta, ubicados nosotros sobre el mismo, pero sí es fácilmente observable el estado de iluminación de la esfera lisa.

Este dispositivo puede ser utilizado como parte de secuencias didácticas de largo plazo, pudiendo incluso conformar proyectos institucionales. Se requiere un espacio al aire libre (patio, plaza cercana) bien iluminado por la luz solar a lo largo todo o gran parte del horario diurno. Para operar con el dispositivo, y teniendo en cuenta las consideraciones realizadas anteriormente, la esfera lisa se coloca en una superficie firme, asegurándose que no se moverá durante el período de observación. Proponemos que la observación se realice sistemáticamente y de forma prolongada -durante el transcurso del ciclo lectivo o al menos entre solsticios-, por lo cual convendría que sea fijada adecuadamente al suelo. Describiremos a continuación los dos procedimientos de trabajo sobre la esfera, a saber: la marcación del terminador y la marcación de las verticales de luz (puntos en los que los rayos de luz inciden en la dirección de la normal).

- **Marcación del terminador.** El terminador es la línea que separa la parte iluminada de la parte en sombras de un cuerpo que se encuentra iluminado por una fuente de luz exterior a él, de manera tal que esta fuente pueda ser considerada puntual y lo suficientemente lejana como para suponer que los rayos de luz que inciden sobre el cuerpo son paralelos entre sí. En este caso, la fuente de luz es el Sol, y tanto la esfera lisa como la Tierra se encuentran parcialmente iluminadas por él (ver figura 2).

El estado de iluminación de los cuerpos esféricos consiste en la iluminación del 50% de su superficie, en tanto que el 50% restante se encuentra en sombras, separadas ambas partes del cuerpo por la línea que hemos denominado terminador, que es un círculo máximo sobre la superficie. Como la Tierra es un planeta con atmósfera y el sol no es una fuente puntual, el terminador será difuso y la porción de superficie iluminada será algo mayor del 50% por efectos ópticos atmosféricos.



Fig.2 - Esfera lisa iluminada, con el terminador marcado

Un procedimiento de trabajo es la marcación del terminador sobre la esfera lisa en intervalos previamente determinados, por ejemplo cada una hora durante el transcurso de un día. Si bien no se encontrará perfectamente delineada por cuestiones atmosféricas y por no ser el Sol una fuente puntual, se puede determinar con claridad y no se dificulta el trazado del mismo sobre la superficie.

Por correspondencia con la situación en la Tierra, la marcación del terminador, permite observar en qué zona es de día y en qué zona de noche, si se trabaja junto a un globo terráqueo en posición paralela (ver más adelante: Globo Terráqueo Paralelo).

- **Marcación de las verticales de luz.** Otro procedimiento es la marcación de puntos sobre la superficie en los cuales los rayos de luz inciden normales a la superficie de la esfera. Esto se logra utilizando un dispositivo construido ad hoc, que denominamos *marcador de verticales de luz* (ver figura 3). Para fabricar un dispositivo como el de la figura, se construye un tetraedro regular hueco, es decir conformado sólo por las aristas. En el vértice que se disponga como superior, se deja un orificio por donde pueda pasar la luz. Se cubre la base, colocando una superficie opaca con un orificio en el centro del triángulo equilátero que forma la base del tetraedro. La longitud del lado del tetraedro debe ser adecuada a la curvatura de la esfera de la que se disponga, para minimizar el error experimental, y lograr así un buen apoyo del tetraedro sobre la superficie de la esfera.



Fig.3 - Marcador de verticales de luz.

Moviendo el dispositivo sobre la superficie de la esfera, se encontrará, en cada momento, una vertical de luz, esto es cuando el rayo de luz solar que pase por el orificio del vértice superior y se proyecte exactamente en el orificio de la base del tetraedro. En ese punto, se realiza una marca sobre la superficie de la esfera lisa, a través del orificio de la base. Estas verticales de luz materializan la dirección perpendicular en cada punto sobre la superficie de la esfera lisa, lo que a su vez representa a la vertical astronómica (la dirección de la plomada) en el punto correspondiente del planeta Tierra.



A la izquierda, en la fotografía 1 (*fotografía tomada por Joaquín Camino, septiembre de 2012, La Plata*), se observan tres terminadores ya trazados más temprano el mismo día, y un terminador siendo trazado con lápiz. El marcador de verticales de luz, se va desplazando sobre la esfera hasta observar la coincidencia de los orificios superior e inferior, respecto del haz de luz incidente, como se muestra en las fotografías 2 y 3 de la derecha (*fotografías tomadas por Emilio Lacambra, diciembre de 2013, La Plata*).

Durante un momento cualquiera del año se pueden realizar ambos procedimientos de marcación sobre la esfera lisa, obteniendo resultados variados que pueden discutirse con los grupos de alumnos sin necesidad de transmitir una explicación sino propiciando la construcción por parte de ellos de diversas explicaciones.

Es importante determinar sobre la esfera el punto que se corresponde con la posición topocéntrica. Se puede demostrar con fundamento gravitatorio que la posición más elevada de la esfera se corresponde biunívocamente con la posición topocéntrica, ya que es el único punto sobre la esfera lisa donde la vertical gravitatoria coincide en dirección con la vertical gravitatoria topocéntrica. Esta vertical gravitatoria se establecer fácilmente con una plomada de mano. A su vez, se puede determinar biunívocamente que el plano tangente por ese punto es paralelo al plano del horizonte local o plano de los líquidos libres, mediante un nivel de burbuja, apoyado sobre la esfera lisa. Sería conveniente mantener permanentemente la indicación o marca de la posición topocéntrica sobre la esfera lisa.

Tras una jornada de trabajo durante cualquiera de los dos equinoccios, todos los terminadores de la esfera lisa se cortarán en dos puntos diametralmente opuestos. Éstos son los únicos dos momentos del año en los que sucede esta situación lumínica, y estos puntos que recibieron luz durante una rotación

completa del planeta se corresponden con los polos geográficos. Además, por marcación de verticales de luz, quedará determinada una porción de circunferencia, equidistante a los dos puntos de intersección de los terminadores. Completando la misma, se obtiene la línea correspondiente al Ecuador.



En la esfera lisa quedarán marcados tras el equinoccio la línea del Ecuador (fotografía 4), el Polo Norte (fotografía 5) y el Polo Sur (fotografía 6). *Fotografías tomadas por Álvaro José Cano Mejía en mayo de 2014 en Chivilcoy, provincia de Buenos Aires (marcaciones realizadas en marzo del mismo año en La Plata).*

Por otro lado, en los solsticios, todos los terminadores formarán las envolventes de dos circunferencias diametralmente opuestas sobre la esfera, centradas en los puntos correspondientes a los Polos. Estas circunferencias limitan a los Círculos Polares, que son las únicas regiones del planeta que pueden encontrarse iluminadas (o en sombras) durante una rotación completa. En el solsticio de junio, la línea correspondiente al Círculo Polar Antártico encerrará la zona de sombra, que no estuvo iluminada durante todo el día, y la correspondiente al Círculo Polar Ártico encerrará la zona iluminada todo el día. En el solsticio de diciembre, se invierte la situación lumínica en las dos regiones. Por marcación de verticales de luz, quedará determinada una porción de circunferencia, más próxima a una de las envolventes dependiendo del solsticio que se esté considerando. Durante el solsticio de diciembre se corresponderá con el Trópico de Capricornio, mientras que durante el de junio se corresponderá con el de Cáncer.



En la parte austral de la esfera, los terminadores se cortan (fotografía 7) formando las envolventes de una circunferencia imaginaria que puede trazarse con compás (fotografía 8) y corresponde al Círculo Polar Antártico. La esfera lisa vista desde arriba (fotografía 9) permite ver la circunferencia antes trazada y la línea determinada por la unión de las verticales de luz, correspondiente al Trópico de Capricornio. *Fotografías tomadas por E. Lacambra en diciembre de 2013 en la ciudad de La Plata*

Si el trabajo se realiza durante un día distinto de los antes mencionados, llamados eventos astronómicos, puede observarse que la línea de verticales de luz determina un arco de circunferencia paralelo al Ecuador y ubicada entre los Trópicos. Queda en evidencia entonces que la zona del planeta delimitada por los Trópicos es la única región en la que el sol incide de forma normal en algún momento durante la primavera y el verano de ese hemisferio. La línea conformada por la marcación de verticales de luz, durante diferentes momentos del año, se corresponde con un círculo menor que se desplaza entre los trópicos, siempre paralelo a ellos, haciéndose círculo máximo en la mitad del recorrido -cada seis meses- al constituirse como el Ecuador. Además, los terminadores formarán las envolventes de circunferencias, siempre con centro en los puntos correspondientes a los polos y de radio menor a los círculos polares, delimitando las zonas que durante ese día estuvieron iluminadas (o en sombras) durante al menos una rotación completa. Estas envolventes van creciendo y decreciendo durante el año, haciéndose máximas en los solsticios y desapareciendo en un punto -transformándose en Polos- los días del Equinoccio.

Si se trabaja de la manera sugerida con una esfera lisa, por un período que abarque dos solsticios consecutivos, realizando marcaciones de manera permanente, se obtendrá un dispositivo en el cual se dispondrá de la posición topocéntrica y de las referencias correspondientes a lo que llamamos líneas notables: Ecuador, Trópicos, Círculos Polares y Polos. Esta situación permite avanzar sobre otro tipo de marcaciones. En particular, determinando el círculo máximo que pasa por la posición topocéntrica y ambos polos (*Meridiana*), es posible establecer un sistema de coordenadas geográficas centrado en el observador. Sobre este círculo, es factible y matemáticamente sencillo determinar la latitud del lugar, como la porción angular del arco de meridiana contenido entre el Ecuador y la cima de la esfera. Asimismo, se puede establecer una red de meridianos, como círculos máximos que pasan por los Polos, desde los cuales referenciar posiciones relativas a cualquier otro punto sobre la esfera (*longitud relativa o topocéntrica*).

La construcción de este sistema de coordenadas deja en evidencia que la latitud puede definirse naturalmente a partir de fenómenos astronómicos, observables indirectamente y mediados por la esfera lisa y construcciones matemáticas. Esta coordenada puede definirse con un origen (*Cero de Latitud*) que tiene un sentido unívoco astronómico dado que es el punto central de las posiciones del Sol, al variar su declinación entre los trópicos y hacerse nula (Ecuador). Toda dirección sobre un círculo máximo que pase por ambos Polos establece la dirección Norte-Sur Verdadera o Geográfica, con fundamento también astronómico. Todo círculo menor paralelo al Ecuador establece la dirección Este-Oeste Geográfica.

La segunda coordenada geográfica, la Longitud, se establece sobre un círculo menor paralelo al Ecuador, que pasa por la posición topocéntrica. No existe fenómeno astronómico que determine un origen de Longitud (*Cero de Longitud*) natural, por lo cual éste debe ser definido arbitrariamente. En la actualidad se utiliza el meridiano de Greenwich como origen de Longitud, pero es factible tomar de manera idénticamente arbitraria el cero de Longitud en la Meridiana y trabajar así con un sistema de longitudes relativas al observador, con fines didácticos.

La construcción de la esfera lisa así marcada es en sí mismo pedagógicamente valiosa. El trabajo mencionado implica observaciones y discusiones, que pueden ser acompañadas por diversos registros, requiere el uso de herramientas geométricas y se vincula con conceptualizaciones de diversas disciplinas escolares -de manera directa la física y la geografía, pero también se puede articular con otras-. Evidencia también que hay construcciones matemáticas en las representaciones cartográficas, y que se ponen en juego decisiones y por lo tanto posicionamientos. Finalmente, además del valor de la construcción mencionada, el dispositivo así marcado se torna didácticamente poderoso al tomar en consideración que la esfera lisa se ha transformado en un Globo Terráqueo básico, que se encuentra en posición paralela al planeta real.

## **2.2 GLOBO TERRÁQUEO PARALELO Y CARTOGRAFÍA ORIENTADA.**

A partir de la esfera lisa entre solsticios, es posible colocar al globo terráqueo en posición paralela al planeta, relacionando las líneas cartográficas notables sobre la esfera con las

correspondientes que se encuentran impresas en el globo. Un globo terráqueo colocado como se ha indicado se denomina globo terráqueo paralelo o globo terráqueo liberado. El primer nombre, "paralelo", se refiere a que ambos objetos (el planeta real y su representación) están ubicados con sus ejes paralelos -es decir que el eje de rotación de cada uno es paralelo al del otro objeto-. La segunda denominación, "liberado", hace referencia a que este dispositivo no está sujeto a ningún armazón – si consideramos la situación física-. Pero también es una denominación fuerte desde lo ideológico. En un globo liberado, la parte superior se corresponde con la locación de la persona que lo ha posicionado. Un globo liberado coloca a la persona que lo contempla en la cima del mundo. En esta posición es fácil observar que todo el planeta se encuentra bajo los pies del observador, sin ninguna porción del planeta que se encuentre por encima de él. De esta forma, se rompe con la falsa antinomia "Norte= arriba; Sur = abajo"



Fotografía 10. Con una plomada se puede poner en evidencia la vertical gravitatoria. Fotografía tomada por Patricia Knopoff en Villa Giardino (Córdoba) en septiembre de 2011.

Esta forma de posicionar el globo terráqueo permite el inicio de una discusión con estudiantes en torno a la cuestión de la orientación en la cartografía. Es habitual el uso de los planisferios en posición vertical (gravitatoria) en las aulas de las escuelas, ya sea colgados de la pared o el pizarrón, probablemente más por cuestiones de comodidad ambiental que por posicionamientos ideológicos. De todas maneras, no se hace un análisis crítico de esa orientación de la cartografía en el espacio de clase, con lo cual se naturaliza la falsa antinomia antes mencionada.

No existe legislación con respecto a la orientación de la cartografía, y toda orientación posible es idénticamente arbitraria, salvo aquella que surja al considerar al planisferio como la proyección plana del planeta Tierra colocada como plano tangente a un globo terráqueo paralelo, con punto de tangencia en la posición topocéntrica. Para operar de esta forma, y discutiendo en clase que toda proyección plana de un cuerpo esférico genera indefectiblemente alguna deformación en la transposición, se torna imperioso tomar decisiones en lo referido al tipo de proyección que se elegirá como más adecuada para el uso que se dará al planisferio en contexto escolar, así como la elección del centro del mismo.

Se puede realizar una discusión áulica acerca de cuáles dimensiones se preferirán conservar y cuáles pueden resignarse al procesar una proyección cartográfica y dependiendo los fines de su uso. Habida cuenta de la marca indeleble en lo cognitivo y en la construcción de las subjetividades que ha infligido la proyección Mercator centrada en Europa, sostenemos que se hace imperioso el uso de una proyección que privilegie el respeto por las áreas (equiareal) y centrada en un meridiano lo más cercano posible a la Meridiana. Considerando que esta propuesta está enfocada fundamentalmente hacia el Sistema Educativo Argentino, creemos que será necesario optar por la elección de algún meridiano que pase por el país, aunque no sea Meridiana para todos, ya que no es posible un consenso mayor que esto en un territorio tan vasto como nuestra República. En este momento es posible disponer del planisferio proyección Aitoff, centrado en el meridiano 69°O, construido por el Instituto Geográfico Nacional, que satisface ampliamente estas expectativas.

Teniendo en cuenta este posicionamiento, y el trabajo ya descrito con la esfera lisa y el globo terráqueo paralelo, sostenemos que se hace prioritario el uso de este planisferio en las aulas, con orientación cardinal, luego de haber generado un trabajo de construcción crítica de conceptualizaciones adecuadas con los dispositivos aquí presentados.

Para ello, proponemos que cada institución educativa construya con su equipo docente y de manera interdisciplinaria, secuencias didácticas a implementar con sus estudiantes. Éstas serán indefectiblemente largas y sostenidas en el tiempo, ya que no puede pretenderse que se construyan modelos y conceptualizaciones adecuados de un proceso que al planeta le insume un año calendario, y

los procesos de cambio conceptual son incluso más lentos. Este tipo de propuestas didácticas a largo plazo son favorables para la formulación de proyectos, que resultan ser un eje a partir del cual se formula, desarrolla e integra el abordaje de multiplicidad de contenidos procedimentales, metodológicos y conceptuales que atraviesan las currículas de la gran mayoría de las áreas de la educación formal.

### **3 REFLEXIONES. CIENCIA PARA LA EMANCIPACIÓN.**

#### **3.1 ¿Cuál es la teoría correcta para interpretar las líneas cartográficas notables?**

Es importante notar que para dar cuenta de los fenómenos que permiten definir Círculos Polares, Trópicos y otras líneas notables no es mandatorio el empleo del modelo heliocéntrico tal como surge de la mecánica celeste. Un modelo geocéntrico, con movimientos del Sol no sólo respecto de la Tierra sino también de la bóveda celeste, puede acomodar perfectamente todos los fenómenos cubiertos en este trabajo. Más aún, si no nos comunicamos con observadores en otros sitios del planeta, modelos más bizarros pueden ajustar los datos también, como la idea de que el Universo gira alrededor de, por ejemplo, el tanque de agua de la escuela. De hecho, poder construir un marco coherente que acomode un conjunto de datos empíricos es una tarea sumamente compleja que difícilmente pueda ser acometida por una sola persona en un período muy corto de tiempo: los marcos explicativos astronómicos se construyeron socialmente a lo largo de los siglos. Por esta razón creemos muy importante permitir que quienes participan de la presente secuencia didáctica sean libres de discutir sus propias construcciones y refinarlas en un proceso de socialización. Resulta mucho más valioso ese proceso que la memorización de “hechos científicos” pues este permite acercar al estudiante a los modos en que el conocimiento científico es construido. El aprendizaje convencional tiende a enfatizar la idea de la ciencia como producto, y al hacerlo ofrece supuestas verdades descontextualizadas. El modo de dar sentido a las producciones científicas es comprender a las ciencias como actividades.

Observemos que las actividades aquí expuestas, y otras que articulan con ellas ofrecen un cúmulo de fenómenos y la sugerencia de conexiones. Debería complementarse la metodología discutida con el uso de gnomones y la observación de la variación de sus sombras proyectadas en el suelo<sup>1</sup>. Por ejemplo, puede discutirse el hecho de que cuando aquí es invierno, en el hemisferio opuesto es verano; que cuando es invierno los gnomones producen sombras más largas y hay menos horas diurnas; que en las regiones en que hay día permanente los gnomones proyectan sombras que cubren una elipse a lo largo del día, pero hipérbolas en los demás; que solo en algunas regiones de la Tierra los gnomones hacen sombra nula a alguna hora. El objeto de esa exposición de fenómenos no es en modo alguno que estos sean memorizados. En lugar de ello, son insumos que invitan a explicar las conexiones mediante modelizaciones y teorías. La posible conexión entre hechos de apariencia tan disímil pueden constituirse en problemas genuinos para estudiantes, y posiblemente también para docentes. El material es suficiente para muchos años de elaboración conceptual articulando temáticas muy diversas. Si al final de ese camino se llega o no a los conocimientos académicamente aceptados es secundario: quien haya incorporado la metodología de la ciencia no tendrá dificultades en estudiarlo en el contexto de una especialización a edad adulta.

#### **3.2 La construcción de subjetividad.**

Otro aspecto esencial de la presente propuesta, en particular a partir del globo terráqueo paralelo y la cartografía orientada, se vincula con el posicionamiento de los sujetos en el mundo. Esto tiene un valor que va mucho más allá del mero aprendizaje científico. A diferencia de un plano de la ciudad o un mapa rutero, el planisferio y el globo terráqueo no tienen un uso práctico en nuestros desplazamientos cotidianos. Consideremos los contextos en los que un planisferio es usado: en un aeropuerto para mostrar husos horarios, en la iconografía de una gran multinacional para mostrar la ubicación de filiales, en una aerolínea ilustrando las rutas comerciales. Se trata pues de modos de representar el mundo, y ningún modo de representación es neutral. Detrás de las decisiones al momento de hacer mapas hay ideologías, prejuicios y relaciones de poder (Harley, 2005). Consideremos

---

<sup>1</sup> Excede a los objetivos de este trabajo la descripción detallada del funcionamiento y uso de este dispositivo

expresiones de uso común como “figurar en el mapa”, “caerse del mapa”, etc. Y esto es particularmente notorio cuando ese mapa es un planisferio. El globo paralelo y la cartografía orientada permiten al estudiante no solo comprender la naturaleza convencional de muchas decisiones cartográficas, sino sobre todo posicionarse en el centro de su mundo: en el globo paralelo uno siempre se encuentra “en la cima del mundo”. En este sentido creemos muy meritoria la confección de mapas Aitoff centrados en la Argentina por el IGN: esta propuesta de trabajo permite darles un gran provecho al contextualizarlo tanto disciplinar como ideológicamente.

No quisiéramos cerrar este trabajo sin mencionar el uso de “arriba” y “abajo” en cartografía. Es notorio cómo incluso quienes tienen un conocimiento disciplinar afianzado en astronomía o cartografía asumen la postura de estar “abajo” en el mundo. En lo gestual, ubicamos a las potencias centrales encima nuestro. *Arriba* y *Abajo* es una relación de jerarquía, de poder. Mostrar claramente que se trata de una construcción arbitraria es de una importancia enorme para la subjetividad del individuo, más allá de la construcción de conocimiento científicamente válido.

Quisiéramos entonces dejar, como últimas palabras, las del poeta Mario Benedetti con las que termina su poema “El Sur también existe”:

*...pero aquí abajo abajo  
cerca de las raíces  
es donde la memoria  
ningún recuerdo omite  
y hay quienes se desmueren  
y hay quienes se desviven  
y así entre todos logran  
lo que era un imposible  
que todo el mundo sepa  
que el Sur también existe.*

## **BIBLIOGRAFÍA**

BENEDETTI, M. **Preguntas al azar**. Visor Libros (2001)

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** en: Enseñanza de las Ciencias, 13, 1:81-96. (1995)

HARLEY, J . **La nueva naturaleza de los mapas**. México: Cfe.(2005)

HESTENES, D.; WELLS, M. Y SWACKHAMER, G. **Force Concept Inventory**. Phys. Teach. 30, 141158. (1992)

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**. en: Enseñanza de las Ciencias, 26(1), pp. 69-82. (2008)

MATURANA, H.R. : **La Objetividad. Un recurso para obligar**. Granica: Buenos Aires. (2011)

VOSNIADU, S., **Capturing and Modelling the Process of Conceptual Change**, Learning and Instruction, vol. 4, pp. 45-69 (1994)

VOSNIADU, S. y BREWER, W. F., **Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood**. Cognitive psychology, 24(4), 535-585 (1992).

VOSNIADU, S. y BREWER, W. F., **Mental models of the day/night cycle**. Cognitive science, 18(1), 123-183 (1994).



**Patricia A. Knopoff**, [koyatun@yahoo.com.ar](mailto:koyatun@yahoo.com.ar)

Profesora en Física y Matemática (FAHCE - UNLP). Integrante del Grupo Choiols de Astronomía a Ras del Suelo desde el año 2012. Integrante de la UIDET-UNITEC, Facultad de Ingeniería (UNLP), desde el año 2011. Docente de la Facultad de Ingeniería (UNLP) desde el año 2010. Directora del Proyecto de Extensión Universitaria *“Una vuelta al sol, vista desde mi escuela”*, acreditado por UNLP. Ha ejercido como docente de Ciencias en varias escuelas públicas de nivel medio de la Provincia de Buenos Aires. Ha dictado con carácter de tallerista o expositora diversos talleres sobre didáctica de la Astronomía. Es técnica de fútbol infantil y juvenil. Coautora del libro de cuentos *“El Libro de tapas verdes”*.



**Daniel O. Badagnani**, [daniel@fisica.unlp.edu.ar](mailto:daniel@fisica.unlp.edu.ar)

Licenciado en física (Instituto Balseiro, UNC, 1998). Investigó en Teoría de Cuerdas, Física de Rayos Cósmicos, Fenomenología Hadrónica y Didáctica de la Física (representaciones del concepto de fuerza). Trabaja actualmente en el Espacio Pedagógico de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP y es miembro del Grupo de Didáctica de las Ciencias (IFLySIB-CONICET). Integrante del Grupo Choiols de Astronomía a Ras del Suelo. Co-director del Proyecto de Extensión Universitaria *‘Una vuelta al Sol, vista desde mi escuela’*, acreditado por UNLP.



**Emilio Lacambra**, [emilio.lacambra@gmail.com](mailto:emilio.lacambra@gmail.com)

Tengo título de Profesor de Química (FAHCE - UNLP). Me desempeño como docente en niveles medio y universitario en asignaturas del área de ciencias exactas y naturales. Soy integrante del Grupo de Didáctica de las Ciencias (GDC, IFLySIB - CONICET) y del Grupo Choiols de Astronomía a Ras del Suelo. Participo como integrante del Proyecto de Extensión Universitaria '*Una vuelta al Sol, vista desde mi escuela*', acreditado por UNLP. He participado en proyectos de extensión e investigación, así como en diversos eventos académicos, vinculados a la enseñanza de las ciencias.



**Egly N. Llerena Suster**, [eglynorka@gmail.com](mailto:eglynorka@gmail.com)

Título de Técnica Química, trabajo en un laboratorio de investigación del CONICET, soy parte del grupo Choiols Astronomía al Ras del Suelo, así como del Proyecto de Extensión "Una vuelta al sol vista desde mi escuela", colaboro con el Espacio Pedagógico de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, he dictado varios talleres de formación docente, y he sido integrante de Cosejos Académicos por el claustro estudiantil en dos Facultades. Docente en el área de las ciencias exactas de vocación, Artesana en tejidos con varias técnicas, Curiosa natural, y Ferviente Militante Feminista.



**Grupo Choiols de Astronomía a Ras del Suelo, [choiols@yahoo.com.ar](mailto:choiols@yahoo.com.ar)**

Tiene su primera acción pública en el Solsticio de Junio del año 2012. Conformado por estudiantes, graduadxs y docentes de la Universidad Nacional de La Plata. Creador de una Didáctica de la Astronomía que promueve la emancipación ciudadana a partir de la construcción de modelos científicos facilitadores de pensamiento crítico. Responsable del Proyecto de Extensión Universitaria *'Una vuelta al Sol, vista desde mi escuela'*, acreditado por la UNLP. El eje *'Nortes, Sures y mundos al revés'* es su propuesta para la implementación de la cartografía orientada a partir de planisferio Aitoff centrado en Argentina en el sistema educativo formal. Responsable de la Jornada *'La Plata en la Cima del Mundo'*, reglamentada por Ordenanza Municipal, mediante la cual se construyó un trazado concéntrico con la traza real de la ciudad de La Plata visible desde el Google Earth. Ofrece charlas y talleres al público asiduamente.