



¿LA TIERRA ES PLANA O REDONDA? UNA EXPERIENCIA CON ALUMNOS DE EDUCACIÓN BÁSICA

IS THE EARTH FLAT OR ROUND? AN EXPERIENCE WITH ELEMENTARY EDUCATION STUDENTS

A TERRA É PLANA OU REDONDA? UMA EXPERIÊNCIA COM ALUNOS DE EDUCAÇÃO BÁSICA

Felipe Martínez Rizo^{✉*}

Cómo citar este artículo: Martínez Rizo F. (2023).). ¿La Tierra es plana o redonda?. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 18(2), 331-340. DOI: <https://doi.org/10.14483/23464712.18776>

Resumen

El texto presenta una experiencia sobre la enseñanza de nociones elementales de Ciencias Naturales a estudiantes de Educación Primaria y Secundaria, que buscó no reducirse a presentar conceptos que los alumnos deben memorizar sin entender; así, se trató de seguir lo que dice la didáctica actual para que los jóvenes reflexionen sobre información que obtienen por sí mismos –o que se les proporciona–, detecten los límites de sus ideas previas y lleguen a construir otras congruentes con lo que dicen las Ciencias. Se maneja un tema del ámbito de las ciencias de la Tierra y el Espacio, poco atendido por el currículo mexicano, pero que es parte de la cultura científica que todo ciudadano del siglo XXI debería tener.

Palabras clave: Método de enseñanza; Didáctica; Ciencias de la Tierra; Astronomía.

Abstract

The text presents an experience on the teaching of elementary notions of Natural Sciences to primary and secondary education students, looking not only to present concepts that students must memorize without understanding, and following what didactics says, so that young people reflect on information that they obtain by themselves, or that is provided to them, detect the limits of their previous ideas and come to construct others congruent with what the sciences say. It deals with a topic from the field of Earth and Space sciences, little attended in the Mexican curriculum, but which is part of the scientific culture that every citizen of the 21st century should have.

Keywords: Teaching method; Didactics; Earth sciences; Astronomy.

Recibido: xxxx de 202x; aprobado: xxxx de 202x

* Licenciado en Ciencias Sociales, investigador jubilado, Universidad Autónoma Aguascalientes, México. felipemartinez.rizo@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7519-4247>.

Resumo

O texto apresenta uma experiência de ensino de noções elementares de Ciências Naturais a alunos do ensino fundamental e médio, que buscou não se reduzir a apresentar conceitos que os alunos devem memorizar sem compreender, procurando seguir o que diz a didática atual para que os jovens. refletem sobre as informações que obtêm por si mesmas, ou que lhes são fornecidas, detectam os limites de suas ideias anteriores e passam a construir outras congruentes com o que dizem as ciências. Trata-se de um tema da área das ciências da Terra e do Espaço, pouco abordado no currículo mexicano, mas que faz parte da cultura científica que todo cidadão do século XXI deve ter.

Palavras chave: Método de ensino; Didática; Ciências da Terra; Astronomia.

1. Introducción

El punto de partida de la experiencia fue la convicción de que la enseñanza de Ciencias Naturales (CN) debe ser parte del currículo de educación básica porque la cultura científica es importante para que el ciudadano participe en forma inteligente e informada en una sociedad marcada por la ciencia y la técnica. Sin embargo, el cómo se manejan las clases de CN refleja que no se suele tener en cuenta que la visión del mundo que dan las CN es muy distinta de la visión derivada del sentido común, y que no es fácil superar esta para llegar a aquella. Muchas ideas científicas son contraintuitivas, y ningún niño las podrá descubrir por sí mismo, ni las entenderá con exposiciones del docente o la lectura del libro de texto, como sucede en la escuela cuando se promueven solamente aprendizajes de baja complejidad, con dictados, copia de párrafos del texto, preguntas simples seguidas por respuestas breves y corrección inmediata, o supuestos experimentos que se reducen a seguir al pie de la letra instrucciones tipo receta de cocina.

Muchas personas actúan como si aceptaran ideas superadas (por ejemplo, que el Sol gira alrededor de la Tierra), aunque se digan convencidos de lo contrario, tanto quienes solo tienen educación básica como entre universitarios. Esto incluye a docentes de Primaria, con licenciatura y formación para enseñar CN; la investigación constata que muchos conocen información correcta de temas de ciencias, pero no pueden justificar por qué la creen sólida, lo que evidencia el abismo que separa lo que se aprende en la escuela y las arraigadas creencias vigentes en la mente de muchos, incluso después de cursar educación superior. Como se muestra adelante, las ideas de los docentes frecuentemente muestran inconsistencias, combinan nociones correctas posiblemente basadas en lo que aprendieron en la escuela, con otras muy equivocadas, incluso sobre cuestiones elementales. Así lo muestran también los resultados de un estudio en una localidad del estado brasileño de Rio Grande do Sul, en el que se exploraron concepciones de 34 docentes

de primeros grados de la Educación Básica, con un instrumento que incluyó preguntas cerradas, abiertas y de ejecución (realizar dibujos), además de indagar si en la formación recibida por los docentes se habían abordado temas de astronomía (DARROZ, DA ROSA, DE GRANDIS, 2016).

La experiencia presentada ofrece a maestras y maestros de Educación Básica ideas para trabajar un tema básico en clase de CN, de manera congruente con las ideas actuales. El propósito fue poner a prueba una forma de enseñar distinta a la habitual en un ámbito de las CN poco atendido en las primarias mexicanas, el de las ciencias de la Tierra y el Espacio. Se buscó llevar a alumnos del último grado de primaria, al que asisten alumnos de 11-12 años, o de la secundaria básica, a una comprensión razonada de la idea astronómica más elemental: que el planeta en que vivimos es una gigantesca esfera.

2. Marco de referencia de la experiencia

a. Tendencias de la didáctica de las ciencias

Las tendencias actuales en el campo de la didáctica de las CN apuntan a que las clases no deben iniciar con ideas abstractas, con definiciones a memorizar que no se pueden comprender, si antes no se captan otras más simples. La enseñanza no debe partir de lo que diga el maestro o el libro; hay que reconocer al estudiante como actor principal de la construcción de su aprendizaje, y para ello es necesario que el docente entienda las ideas previas de los alumnos y sepa cómo apoyarlos para que, a partir de ellas, configuren otras congruentes con la visión que brinda hoy la ciencia (cfr. GELLON *et al.*, 2018; MATTHEWS, 2017; TREAGUST, CHI-YAN, 2014; WINDSCHITL *et al.*, 2012).

Es importante el señalamiento de que hay que comenzar por cuestiones básicas, más sencillas, antes de pasar a las más complejas, teniendo en cuenta el grado de madurez de los estudiantes y lo que enseña la historia de la ciencia sobre cómo se ha desarrollado. En esta dirección, GIORDANO (2021) presenta una progresión de aprendizaje sobre ideas básicas entre

Física y Astronomía, congruente con la idea seminal de organizar el currículo progresivamente, o en espiral (BRUNER, 1977 [1960]); hecho que implica que las ideas clave se vean una y otra vez a lo largo de los grados, cada vez con mayor profundidad, conforme la madurez de los estudiantes.

Después de revisar lo que aportan la epistemología y la psicología a la comprensión de cómo se adquieren los conocimientos del ámbito de las ciencias naturales, DEL VAL (2013) afirma lo siguiente: A partir de todo lo anterior se puede formular una propuesta diferente de la enseñanza de la ciencia que tenga en cuenta los distintos aspectos que hemos ido poniendo de manifiesto.

- Debe partir de las ideas espontáneas del niño y tener en cuenta tanto su desarrollo intelectual general como la articulación de las nociones científicas que se estén tratando de enseñar.
- Es necesario realizar una enseñanza experimental en la que el niño actúe, pero en la que se planteen también problemas teóricos.
- Se debe utilizar la historia de la ciencia y la técnica como guía para el trabajo escolar. (DEL VAL, 2013 p. 146)

CAMINO (2021) observa que, si bien la investigación sobre la enseñanza de la Astronomía tiene ya unas cuatro décadas de desarrollo, aún falta mucho por avanzar, y sintetiza una amplia literatura con base en la cual intenta enfrentar “el desafío de una didáctica específica nueva”, y para ello propone diseñar actividades que sean vivencialmente significativas para los estudiantes. Reflexiona sobre lo que los docentes deben saber y hacer para estar en condiciones de dar el necesario nuevo enfoque a la enseñanza que ofrecen, e ilustra su propuesta con dos “actividades ejemplares”, una “sobre el estado de iluminación de una esfera lisa y de la Luna”, y otra “a partir de las sombras de las nubes” (pp. 18, 22 y 25-35).

Sin la profundidad de trabajos como los mencionados, el trabajo con docentes mexicanos de Educación Básica ha permitido apreciar tanto las

limitaciones de la enseñanza de ciencias, como el peso que tiene al respecto la limitada comprensión que los mismos docentes tienen de nociones muy elementales. Se advierte también que los planes y programas de estudio, y los libros de texto, dan poca importancia a temas de Astronomía, y que los pocos considerados son presentados en formas que no ayudan a corregir las deficiencias que los docentes traen desde su formación en las Escuelas Normales. En las primarias mexicanas (SEP, 2011), los aprendizajes esperados de Ciencias se agrupan en los ejes *sistemas del cuerpo humano, salud y enfermedad, seres vivos, ecosistemas y evolución*, así como *materia y energía*; este último incluye algunos temas sobre la Tierra y el Espacio, que en el currículo no constituyen un eje especial, a diferencia de lo que recomiendan marcos internacionales, como el de los *next generation science standards* (NRC, 2012) y el de las pruebas PISA (OCDE, 2016).

Entre los pocos temas de este campo que incluyen los programas y los libros de texto se da importancia a que los niños sepan que la Tierra gira alrededor del Sol, sin advertir lo difícil que es superar la idea, al parecer obvia, de que es el Sol el que da vueltas cada día, como creyeron los astrónomos de la antigüedad y otros, hasta mucho después de que Copérnico propusiera el modelo heliocéntrico.

b. Antecedentes de las ideas sobre la Tierra

No es raro que la escuela no consiga que los alumnos comprendan por qué es mejor el modelo copernicano, lo que también ocurre con muchos docentes. No se advierte que los estudiantes tampoco suelen comprender una noción más sencilla, aceptada 2000 años antes de que Copérnico propusiera el modelo heliocéntrico: la de que la Tierra es una esfera, aunque se la perciba como plana. La enseñanza de nociones astronómicas elementales limitada a dar información a los niños, sin actividades que los ayuden a superar ideas precientíficas previas, y a veces por docentes que no dominan el tema, no ayuda a que el alumnado dé el paso de sus ideas previas a las científicas.

La enseñanza de enfoque tradicional arroja como resultado que los chicos recuerden nombres y datos con los que pueden responder las preguntas de un examen, que pronto olviden muchos de esos nombres o los confundan, y que acepten fácilmente afirmaciones pseudocientíficas de horóscopos, extraterrestres u ovnis, o incluso terraplanistas. Todavía hoy se escucha que en la época del viaje de Colón a América todo mundo creía que la Tierra era plana, que Colón era el único en creer lo contrario, y que convenció a la reina Isabel de apoyar su viaje pese a la oposición de los teólogos de Salamanca. En realidad, ya en el siglo VI a. C., Pitágoras propuso que la Tierra era esférica, y así lo creían Aristóteles, Aristarco, Hiparco y Ptolomeo. En la Edad Media, los principales estudiosos, de Beda el Venerable a Tomás de Aquino, pasando por Roger Bacon y Alberto Magno, Buridán y Nicolás de Oresme aceptaban que la Tierra era esférica. La idea de una Tierra plana fue defendida solo por autores de poca importancia, como Lactancio (ca. 300 d. C.) con base en la lectura literal de la Biblia, y Cosmas (ca. 550 d. C.) que, en su *Topografía cristiana* mezcló datos de viajes y leyendas sobre monstruos y extraños seres de las antípodas, la parte inferior de una Tierra plana (GOULD, 1995: 38-50).

Lo que los eruditos de Salamanca cuestionaban era el cálculo del tamaño de la Tierra, que subestimaba la distancia real por mar de Europa a China. Los críticos de Colón tenían razón al decir que era mayor la circunferencia: si el gran navegante no hubiera encontrado América, su viaje habría acabado mal. Los viajes de Colón, y el de Magallanes y Elcano alrededor del mundo, no revelaron al mundo la esfericidad de la Tierra, pero sí que en las antípodas vivía gente en todo similar a la del hemisferio norte, y que las naves y sus tripulantes no advertían nada especial por estar al otro lado del mundo, contra las fantasías de Cosmas. Parece increíble que todavía hoy unos cuantos defiendan que la tierra es plana (*Earth Flat Society*, terraplanistas), después de viajes alrededor del mundo, satélites artificiales y demás avances, pero no por eso deja de ser verdad que todos seguimos percibiendo la Tierra como plana.

Con excepción de esos excéntricos, casi todos aceptamos que la Tierra es una gran bola, pero muchos lo hacen solo porque así lo oyeron de los docentes; los que no fueron a la escuela, como todos en las culturas de la Antigüedad, siguen aceptando lo que dice el sentido común, con diversas versiones de una Tierra plana, rodeada por el mar, y alrededor de la cual gira el Sol.

Algunas investigaciones han estudiado las ideas sobre la forma de la Tierra, en niñas y niños, y han observado que estas cambian con la edad y la escolaridad: los más pequeños creen que la Tierra es plana; luego piensan que la Tierra es una esfera y que los humanos vivimos en la parte plana del centro, entre las dos mitades (hemisferios); finalmente llegan a la visión científica, pero algunos siguen con ideas precientíficas al fin de la Primaria, y hay también adultos que no alcanzan la concepción científica.

En cuanto a docentes, un estudio español mostró que una proporción no despreciable (en el orden de 15 %) manifestó ideas no científicas sobre la forma de la Tierra: unos dijeron que “es esférica, pero vivimos en el centro en una zona plana”; otros que hay dos Tierras, “esférica del espacio y plana donde vivimos”; que la Tierra es “esférica con partes planas que es donde vivimos”; o que es “redonda alrededor y plana por encima” (VEGA NAVARRO, 2001 p. 32). Un trabajo con docentes en el norte de México concluyó que la mitad de los que fueron entrevistados expresó ideas sobre la forma de la Tierra que no corresponden con la visión científica (FERNÁNDEZ NISTAL, PEÑA BOONE, 2008 pp. 20-21).

3. Desarrollo de la experiencia

a. Punto de partida: las ideas de los alumnos

Si se pregunta a niños de Primaria si la Tierra es plana o redonda, casi todos dirán que es redonda, pero si se explora qué piensan se verá muchas veces que sus ideas no son claras. Para explorar las ideas previas de los alumnos sobre la forma de la Tierra hay que

pedirles hacer un dibujo y un modelo de plastilina en que la representen. Luego, debe indagarse por sus ideas sobre la forma del planeta, si se inclinan por una explicación como las halladas en estudios previos: la Tierra es circular y plana, como un plato; es redonda como pelota, pero tiene partes planas, en donde vive la gente, o si tienen la idea correcta de que la Tierra es redonda como pelota, pero como es muy grande solo vemos una parte muy pequeña que parece plana. Por lo general, podrá constatarse que no pocos niños tienen una idea equivocada, cercana a la que parece obvia y que corresponde a la percepción inmediata. Para encaminar a los estudiantes en dirección de la explicación correcta, se propone una secuencia de tres pasos.

b. Primer paso. ¿Cómo sabían los antiguos que la Tierra era una gran esfera?

Gracias a las ilustraciones de los libros de texto, o a las imágenes de la televisión e internet, muchos estudiantes están familiarizados con fotografías de la Tierra tomadas desde el espacio, en las que es evidente su forma esférica. Por ello se entiende que acepten con facilidad la idea, pese a que contradiga la impresión que todos tenemos. El primer paso busca que los estudiantes se pregunten en qué se basaban los sabios griegos y otros de la Antigüedad para sostener, contra la percepción inmediata, y sin tener fotografías tomadas desde el espacio, que la Tierra era esférica y no plana.

El argumento más conocido se refiere a cómo se pierde de vista un barco que se aleja de la costa: primero deja de verse la parte inferior, el casco que está justo sobre el agua, y después la parte superior, mástiles de los veleros o chimeneas de los buques de vapor. Esta experiencia no la tienen chicos que viven lejos del mar, pero tiene sentido, y resulta familiar a los marinos que aprecian la curvatura del horizonte al ver otras naves o montañas de la costa al acercarse o alejarse. Otros argumentos tienen que ver con la sombra de la Tierra al ocultar a la Luna en un eclipse, y con la distinta altura a la que se ven en el cielo las constelaciones, al viajar

al norte o al sur. Tampoco es fácil que los alumnos hagan este tipo de observaciones, y los docentes no deberán limitarse a exponerlas, sino que deberán utilizar apoyos visuales para sustituir las experiencias personales, y hacer que los chicos discutan para alcanzar buena comprensión.

Para el siguiente paso, informar a los chicos que los astrónomos griegos no solo sabían que la Tierra era esférica, sino que uno consiguió estimar el tamaño de la circunferencia terrestre. Entender esto, y poder replicarlo, complementará la comprensión anterior.

c. Segundo paso. ¿Cómo midió Eratóstenes la circunferencia terrestre?

Los griegos no solo sabían que la Tierra era esférica; Eratóstenes, en la Biblioteca de Alejandría, pudo estimar su tamaño con notable precisión a fines del siglo III a. C. (Figura 1).

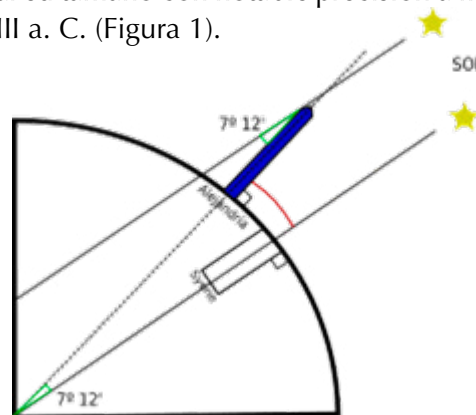


Figura 1. Representación esquemática del razonamiento de Eratóstenes. Fuente: <http://mimosa.pntic.mec.es/jgomez53/matema/practica/eratostenes.htm>

En Siena, ciudad al sur de Alejandría, en el día más largo del año, el solsticio de verano, el sol estaba justo en el cenit, lo que se sabía porque ese día los rayos solares iluminaban el fondo de un pozo. En el siguiente solsticio, Eratóstenes vio la sombra que proyectaba una columna en Alejandría; hacia mediodía, cuando las sombras son más cortas, la longitud de la sombra era 1/8 del tamaño de la columna. Eso quería decir que el Sol no estaba en el cenit como en Siena, sino más bajo.

La columna y su sombra son los catetos de un triángulo rectángulo. La columna es el cateto mayor (b); la sombra, el cateto menor (c). La trigonometría enseña que la tangente del ángulo que se forma en la punta superior de la columna será el cociente que resulte de dividir el cateto menor entre el mayor (c/b), y con la tangente se encuentra el ángulo correspondiente.

En Alejandría, el ángulo del Sol respecto a la perpendicular, como sería si estuviera en el cenit, se puede estimar calculando primero la tangente del ángulo, sabiendo que el cateto menor es $1/8$ del mayor; por ejemplo, cateto mayor $b = 100$ cm; cateto menor $c = 12,5$ cm. La tangente c/b será $12,5/100 = 0,125$. Esa tangente es de un ángulo de $7,2^\circ$ ($7^\circ 12'$), $1/50$ de círculo ($360^\circ/7,2^\circ = 50$). Eratóstenes concluyó que la distancia Siena-Alejandría era $1/50$ de la circunferencia de la Tierra. Entre Siena y Alejandría había unos 5000 estadios, por lo que la circunferencia terrestre sería 50 veces mayor, 250 000 estadios. Si un estadio equivale a 160 m, 5000 serían 800 km, y la circunferencia terrestre 50 veces más, ~ 40 000 kilómetros, muy cerca de la cifra que hoy se considera correcta de 40 030 km (ORDÓÑEZ, NAVARRO, SÁNCHEZ RON, 2007 pp. 155-156).

Con la información de que puede disponer hoy cualquier docente, y sin necesidad de equipamiento especial, un estudiante que viva al norte del Trópico de Cáncer puede estimar el tamaño de la circunferencia de la Tierra aplicando el método de Eratóstenes. Solo necesita un mapa para medir la distancia del lugar en que él o ella se encuentra respecto al Trópico, y saber que en el trópico de Cáncer el Sol está en posición vertical respecto al suelo (en el cenit) el día del solsticio del verano del hemisferio norte, por lo general el 21 de junio. La medición que se presenta la hizo una alumna de secundaria en Los Ángeles (California), el 21 de junio de 2020. Ese año el solsticio fue el día 20, pero la altura del Sol es prácticamente la misma un día después; previamente la joven encontró en un mapa, aplicando la escala indicada, que Los Ángeles está 1200 km al norte del trópico (Figura 2).



Figura 2. Alumna midiendo la circunferencia de la Tierra.

Para hacer la medición deberán darse los pasos siguientes el día del solsticio de verano:

- En un espacio abierto que reciba los rayos del sol al mediodía, clavar verticalmente una vara que sobresalga del suelo 100 cm.
- El día del solsticio observar la sombra de la vara y medir su tamaño cuando sea más pequeña, alrededor de mediodía; para esta demostración particular, la sombra midió 20 cm.
- La vara y su sombra son los catetos de un triángulo rectángulo; el mayor (la vara, b) mide 100 cm; el menor (la sombra, c), 20 cm. Por trigonometría, la tangente del ángulo que se forma en la punta superior de la vara (A) será el cociente que resulte de dividir $20/100$, o sea 0,2; el ángulo que corresponde a esa tangente es de 11° . Sin trigonometría se puede dibujar un triángulo rectángulo con medidas proporcionales a las de la vara y su sombra (Figura 3).

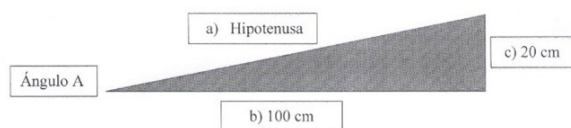


Figura 3. Triángulo con medidas proporcionales.

Fuente: elaboración propia.

- Como lo muestra la Figura 3 (donde, para propósitos del ejercicio, se rota el triángulo hacia la izquierda, de manera que el cateto que corresponde a la vara queda en posición horizontal), el ángulo A se puede medir con un transportador, y se obtendrá como resultado que es de unos 11° .
- Una circunferencia tiene 360° ; la proporción de ese total que representa un ángulo de 11° (cuántas veces cabe 11 en 360) es $360/11 = 32,72$.
- Por lo tanto, la circunferencia de la Tierra debe ser igual a la distancia de Los Ángeles al trópico de Cáncer (1200 km) multiplicada por 32,72, lo que arroja la cantidad de 39 264 km.

¿Se ha podido medir la circunferencia terrestre en el patio de cualquier escuela, con una aproximación tan buena como la de Eratóstenes!

Variante: medición al sur del Trópico de Cáncer

Con la misma lógica, al sur del trópico, el tamaño de la circunferencia terrestre se puede estimar en relación con el Ecuador, donde el Sol está en el cenit dos veces al año, en los equinoccios de primavera (21 de marzo) y otoño (21 de octubre). En la ciudad de Aguascalientes (México), que está un poco al sur del Trópico, a unos 2450 km del Ecuador, una alumna de 6° grado de Primaria encontró el 21 de marzo de 2021 una sombra de 40,2 cm con lo que se obtiene una tangente de 0,402 y un ángulo de $21,9^\circ$; tras medir el ángulo con transportador en un triángulo a escala se obtiene también un ángulo de $\sim 22^\circ$. La proporción de un ángulo de 22° en los 360° de la circunferencia es $360/22 = 16,36$. Por tanto, la circunferencia de la Tierra debe ser igual a la distancia de Aguascalientes al Ecuador (2450 km) multiplicada por 16,36, lo que arroja la cantidad de 40 082 km.

d. Tercer paso. ¿Por qué vemos la tierra como si fuera plana?

Replicar la medición que hace más de 2000 años hizo Eratóstenes es una experiencia que puede resultar emocionante para los estudiantes; tras ella puede darse un paso más, con el cual el docente lleve a los alumnos a una reflexión a partir de la cual comprendan por qué todos ven la Tierra como si fuera plana, aunque en realidad sea una esfera.

- Para entender por qué la Tierra parece plana, los alumnos necesitan conocer:
 - La fórmula de la circunferencia: diámetro (o 2 veces el radio) por π , 3,14159...
 - Los múltiplos y submúltiplos del metro.
 - Qué quieren decir los prefijos deca-, hecto-, kilo-, y deci-, centi-, mili-, micro-.
 - Qué quiere decir que algo está a cierta escala, como 1:100 o 1:100 000.
- Deben saber también cuánto mide la Tierra, una montaña y una persona:
 - Diámetro terrestre: 12 742 km, 12 472 000 m. Radio: 6371 km, 6 371 000 m.
 - Circunferencia: 40 030,14 km, 40 030 140 m. Cuadrante: 10 007 535 m.
 - Diezmillonésima parte de cuadrante: 1,0007535 m (vieja definición de metro).
 - Altura de montaña media no sobre el nivel del mar, sino de la base: 1000 m.
 - Estatura de una persona normal: 1,75 m.

Una vez confirmado que los alumnos manejan la información anterior, pedirles que calculen de qué tamaño serían la Tierra, la montaña y la persona en una escala 1:1 000 000, o sea que una medida real es representada en el modelo por otra un millón de veces menor. El docente apoyará a los estudiantes para que hagan correctamente los cálculos, con los que concluirán que, en un modelo a escala 1:1 000 000,

- La Tierra es una esfera cuya circunferencia tiene $40,03 \text{ m}$ y cuyo diámetro mide $12\,742 \text{ m}$ ($40,03/\pi$).
- La montaña es una arruga muy pequeña en la superficie de la esfera, apenas perceptible, de $0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$.
- Una persona normal es una minúscula figura de $0,00000175 \text{ m} = 0,00175 \text{ mm} = 1,75 \text{ micras}$ (milésimas de milímetro, millonésimas de metro)
- Los movimientos de las estrellas y unos planetas (Venus, Júpiter, Saturno), también en parte directamente y en parte con datos obtenidos en línea.
- Explicaciones erróneas de las estaciones del año, favorecidas por dibujos de la órbita de la Tierra exageradamente elíptica, frente a estimaciones de la distancia Tierra-Sol en distintos meses del año que se pueden estimar con base en fotografías solares que muestran que la órbita es ligeramente elíptica y las estaciones se explican por la inclinación del eje de rotación.

A partir de esto, se puede motivar a los alumnos a que reflexionen sobre cómo percibiría un minúsculo hombrecillo de menos de dos micras la gran esfera de $12,7 \text{ m}$ de diámetro y una montaña que, con solo 1 mm , sería más de 500 veces mayor a él. Los alumnos podrán reconocer así que la Tierra parece plana porque las personas son muy pequeñas en relación con una esfera tan enorme. Se podrá, además, hacer una primera aproximación a la noción de *gravedad*, la atracción de todos los cuerpos hacia el centro de la Tierra, con el ejemplo de una hormiguita situada en una gran pelota, sobre la que puede caminar tanto si está en la parte superior como en la inferior.

4. Conclusión

Las mediciones de la circunferencia terrestre al norte y sur del trópico de Cáncer se hicieron los días de solsticio y equinoccio; antes y después se trabajaron los pasos primero y tercero del proceso. Las experiencias fueron compartidas con decenas de docentes de primaria y secundaria en un diplomado sobre enseñanza de Ciencias Naturales (CN); los estudiantes entendieron bien una idea elemental, a partir de la cual podrán captar otras más complejas, considerando sucesivamente:

- Los movimientos del Sol a lo largo del año (días más largos y cortos, distinta altura respecto al horizonte) y los de la Luna (ciclo de fases), en parte con observaciones directas, en parte con datos que se pueden obtener en línea.

Solamente después de lo anterior, los alumnos podrán llegar a una reflexión que les permita entender que el modelo heliocéntrico del sistema solar es superior al geocéntrico. El tiempo que llevó a los astrónomos aceptar esta idea revela su complejidad. La superioridad del modelo de Copérnico radica en que da cuenta mejor que el de Ptolomeo de las observaciones, en especial de los movimientos de los planetas, al parecer irregulares. La experiencia con decenas de docentes de Educación Básica hizo ver que no tenían clara esa idea clave, y que sus alumnos solo memorizaban que la Tierra gira alrededor del Sol sin entender en qué se basa esta idea. Si los estudiantes no tienen claro siquiera el sustento de la opinión de que la Tierra es una esfera, difícilmente entenderán que nuestro planeta no está inmóvil en el centro del universo, sino que gira a gran velocidad alrededor del Sol, contra lo que parecen decirnos nuestros ojos.

Otras experiencias han mostrado que alumnos de Secundaria pueden replicar las estimaciones de la fuerza de gravedad en la superficie de la Tierra que hicieron discípulos de Galileo; comprender el razonamiento que llevó a Newton a concluir que la misma fuerza explica la caída de una manzana y el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra; y apreciar la fecundidad de las teorías de Newton con las que se pudo predecir la existencia del planeta Neptuno y permitir su observación.

Algunos proponen enseñar CN de manera que los niños encuentren divertido aprender, lo que intentan conseguir con ilustraciones de personajes graciosos

como los de dibujos animados, o con presuntos experimentos que dan resultados que sorprenden, sin que queden claras las nociones a desarrollar, o las preconcepciones a superar. Esas prácticas devalúan la enseñanza indagatoria, aunque los niños se diviertan. Experiencias como la que aquí se presenta buscan evitar el error de identificar lo agradable y lo jocoso: aprender ciencias debe ser fascinante en sentido profundo; eso lo podrá conseguir un niño si, guiado por un buen maestro, consigue replicar lo que hicieron Eratóstenes, Arquímedes, Galileo, Newton y otros pioneros.

5. Referencias

- BRUNER, J. S. **The process of education**. Harvard University Press. Cambridge, MA: Estados Unidos, 1977 (1960).
- CAMINO, N. Diseño de actividades para una didáctica de la astronomía vivencialmente significativa. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, Bogotá, v. 16, n. 1, pp. 15-37. 2021. <https://doi.org/10.14483/23464712.16609>.
- DARROZ, L. M.; DA ROSA C. T. W.; DE GRANDIS, C. D. Concepciones de un grupo de profesores de años iniciales acerca de los conceptos básicos de la astronomía. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de Ciencias**, Bogotá, v. 11, n. 2, pp. 240-255. 2016. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.gdla.2016.v11n2.a6>.
- DEL VAL, J. **El aprendizaje y la enseñanza de las ciencias experimentales y sociales**. Siglo XXI Editores. Ciudad de México: México, 2013.
- FERNÁNDEZ NISTAL, M. T.; PEÑA BOONE, S. H. Concepciones de maestros de primaria sobre el planeta Tierra y gravedad. Implicaciones en la enseñanza de la ciencia. **Revista Electrónica de Investigación Educativa**, Ensenada, México, v. 10, n. 2. 2008. <http://redie.uabc.mx/vol10no2/contenido-fernandeznystal.html>.
- GELLON, G.; ROSENVASSER FEHER E.; FURMAN, M.; GOLOMBEK, D. **La ciencia en el aula. Lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla**. Siglo XXI. Buenos Aires: Argentina, 2018.
- GIORDANO, E. Una progresión de aprendizaje sobre ideas básicas entre Física y Astronomía. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, Bogotá, v. 16, n. 2, pp. 272-293. 2021. <https://doi.org/10.14483/23464712.17107>.
- GOULD, S. J. The late birth of a flat Earth. In: **Dinosaur in a haystack. Reflections in natural history**. Harmony Books. Nueva York: Estados Unidos, 1995, pp. 38-50.
- MATTHEWS, M. R. **La enseñanza de la ciencia. Un enfoque desde la historia y la filosofía de la ciencia**. Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México: México, 2017.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **A framework for K-12 science education practices, crosscutting concepts and core ideas**. National Academies Press. Washington, Estados Unidos, 2012.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (OCDE). **PISA 2015 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematics and financial literacy**. París: Francia, 2016.
- SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA. **Programas de estudio 2011. Guía para el maestro. Educación Básica Primaria Tercer Grado**. SEP. Ciudad de México: México, 2011.
- ORDÓÑEZ, J.; NAVARRO, V.; SÁNCHEZ RON, J. M. **Historia de la ciencia**. Espasa Gran Austral. Madrid: España, 2007.
- TREAGUST, D. F.; CHI-YAN T. (2014). General instructional methods and strategies. In: LEDERMAN, N. G. y ABELL, S. K. (eds.). **Handbook of research on science education**. Routledge. Nueva York: Estados Unidos, 2014, Vol. II, pp. 303-320.
- VEGA NAVARRO, A. Tenerife tiene seguro de Sol (y de Luna): representaciones del profesorado de primaria acerca del día y la noche. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 19, n. 1, pp. 31-44. 2001. <https://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v19n1/02124521v19n1p31.pdf>.
- WINDSCHITL, M.; THOMPSON, J.; BRAATEN, M.; STROUPE, D. Proposing a core set of instructional practices and tools for teachers of science. **Science Education**, Hoboken, Nueva Jersey, v. 96, n. 5, pp. 878-903. 2012. <https://doi.org/10.1002/sce.21027>.

