



## Modelos cosmológicos en la ciencia escolar. Aportes desde la historia de la ciencia para su enseñanza– aprendizaje

Cosmological models in school science. Contributions from the science history for its teaching – learning

Modelos cosmológicos na Ciência Escolar. Contribuições para seu ensino-aprendizagem a partir a História da Ciência

Carolina Eugenia Espinoza Cona<sup>1</sup>  
Johanna Camacho González<sup>2</sup>

**Fecha de recepción:** julio 2016

**Fecha de aceptación:** noviembre 2016

**Para citar este artículo:** Espinoza-Cona, C.E., y Camacho-González, J. (2016). Modelos cosmológicos en la ciencia escolar. Aportes desde la historia de la ciencia para su enseñanza–aprendizaje. *Revista Científica*, 27, 351-364. **Doi:** [10.14483/udistrital.jour.RC.2016.27.a5](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.27.a5)

### Resumen

Esta investigación tuvo por objetivo analizar los modelos explicativos del estudiantado de séptimo básico (11-12 años) acerca del Sistema Solar, antes y después de una intervención didáctica que incluía la historia de la ciencia en la enseñanza de los modelos cosmológicos, considerando el modelo cognitivo de ciencia (Giere, 1992). El diseño metodológico se desarrolló a través de dos etapas: 1) diseño y validación de una unidad didáctica, desde el ciclo constructivista de aprendizaje (Sanmartí, 2000); y 2) identificación y comparación de los modelos explicativos estudiantiles antes y después de la intervención didáctica. Los principales resultados evidencian que el aporte de la historia de la ciencia es significativo para la construcción de modelos explicativos dinámicos, complejos y flexibles acerca de los modelos cosmológicos, los cuales se caracterizan por incluir nuevos elementos, establecer más relaciones entre los cuerpos celestes y poseer un lenguaje más especializado.

**Palabras clave:** educación básica, enseñanza-aprendizaje de la astronomía, modelos cosmológicos, modelos explicativos escolares, sistema solar.

### Abstract

This study seek to examine the explanatory models of secondary school students, concerning the solar system before and after an didactic intervention involving the history of science related to cosmological models, based from the cognitive model of science (Giere, 1992). The research took place in two stages: a. Design and validation of a didactic unit according to the constructivist learning cycle (Sanmartí, 2000); and b. Identification and comparison of the explicative models before and after the proposed educational intervention. The main findings expose that the role of the history of science is relevant for the construction of more complex and variable, dynamic explicative models related to cosmological theory. Such models were strongly characterized by the inclusion of

<sup>1</sup>. Universidad Central de Chile Santiago, Chile. Contacto: [caropearl@gmail.com](mailto:caropearl@gmail.com)  
<sup>2</sup>. Universidad de Chile, Santiago, Chile. Contacto: [jpcamacho@uchile.cl](mailto:jpcamacho@uchile.cl)

novel elements, a strong correlation between several celestial bodies and to expose a more specialized language.

**Keywords:** secondary school, teaching and learning of astronomy, cosmological models, school explanatory models, solar system.

### Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo analisar os modelos explicativos estudantis do sétimo básico (11 – 12 anos) sobre o sistema solar, antes e depois de uma intervenção didática que incluía a História da Ciências no ensino dos modelos cosmológicos, tendo em conta o Modelo Cognitivo de Ciência (Giere, 1992). O desenho metodológico usado foi desenvolvido em duas etapas: a. Desenho e validação de uma unidade didática, desde o Ciclo Construtivista de Aprendizagem (Sanmartí, 2000) e, b. Identificação e comparação dos modelos explicativos estudantis antes e depois da intervenção didática. Os principais resultados evidenciam que a contribuição da História da Ciência é significativa para a construção de modelos explicativos dinâmicos, complexos e flexíveis a respeito dos modelos cosmológicos, os quais se caracterizam por incluir novos elementos, estabelecer mais relações entre os corpos celestes e possuir uma linguagem mais especializada.

**Palavras chave:** Ensino Básico, Ensino-Aprendizagem da Astronomia, Modelos cosmológicos, Modelos Explicativos Escolares, Sistema Solar.

### Introducción

El enseñar y aprender ciencias hoy presenta varios desafíos, los cuales deben responder a las necesidades, inquietudes y curiosidades de nuestros estudiantes y también a los requerimientos de nuestro país. En la actualidad, la ciencia ocupa un rol protagónico en nuestra sociedad y, como señala Cofré (2010), el conocimiento hace parte de todos los aspectos de la vida cotidiana, siendo indispensable para la participación de manera informada de una sociedad democrática. Considerando estos aspectos, se hace necesario problematizar la naturaleza de la ciencia desde una mirada más compleja

para la educación científica a fin de enriquecer la visión tradicional de ciencia que ha caracterizado los procesos escolares. Desde este punto de vista, la historia de la ciencia aporta varios elementos

Puede hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando las capacidades de pensamiento crítico; puede contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos [...] pueden mejorar la formación del profesorado contribuyendo a una epistemología de la ciencia más rica y más auténtica, esto es un mejor conocimiento de la estructura de la ciencia y su lugar en el marco intelectual de las ciencias [...] puede ayudar a los profesores a apreciar las dificultades de aprendizaje de los estudiantes porque les advierte de las dificultades históricas del desarrollo científico y el cambio conceptual. (Matthews, 1994, p.7)

Teniendo en cuenta el aporte de la historia de la ciencia como una metaciencia que contribuye favorablemente a complejizar la naturaleza de la ciencia en la ciencia escolar (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003), y que además permite mejorar los modelos estudiantiles (Camacho *et al.*, 2012; Arzola *et al.*, 2011), se propuso como objetivo de esta investigación analizar los modelos explicativos del estudiantado de séptimo básico (11-12 años) acerca del Sistema Solar, especialmente los modelos cosmológicos, al inicio y cierre de una unidad didáctica que incluía la historia de la ciencia.

### Visión epistemológica del concepto de modelo explicativo y su relación en la ciencia escolar

Siguiendo las ideas de Giere (1992) y su propuesta de modelo cognitivo de ciencia, se puede definir la noción de modelo como los medios a través de los cuales se representa el mundo. Así, el estudiantado también busca explicar sus ideas dentro de la ciencia escolar a través de modelos que no necesariamente son réplicas de la ciencia erudita, sino más bien son construcciones didácticas

mediadas por el profesorado (Eder y Adúriz-Bravo, 2008). Estos modelos estudiantiles, que son explicativos por su propósito, son fundamentales en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias ya que, como señala Wartofsky (citado en Sanmartí e Izquierdo, 1998), demuestran comprensión de un fenómeno natural cuando la persona es capaz de hacer entender a otra persona, una noción cognitiva y epistémica mucho más que la sola vinculación con procesos comunicativos como transmisión o enunciación de conceptos científicos (Camacho, 2014). Pues esto supone, además, la evolución de estos al mismo tiempo que cambian tanto los hechos que se analizan como los conceptos y lenguajes utilizados para hablar de ellos (Sanmartí, 2000).

Adúriz-Bravo (2009) menciona que esta noción de modelo, tomado desde la propuesta de Giere,

Es bastante flexible y riguroso para trabajar el modelo científico escolar en la sala de clases ya que permiten entender lo abstracto de algún fenómeno como también las concepciones alternativas del estudiantado [...] los modelos teóricos permitirían recrear en clase un saber disciplinar que es patrimonio de todos y todas, pero que se debería enseñar sólo en tanto que posibilite que los sujetos comprendan el funcionamiento del mundo natural. (Adúriz-Bravo, 2009., p. 47)

La importancia de estos modelos, como indica Merino *et al.*, (2008), radica en reconocerlos como punto de partida de los aprendizajes a fin de superar las ideas del sentido común. En general,

Los modelos explicativos del alumnado suelen ser estáticos, aislados, se basan en la causalidad lineal y son muy deterministas. En contraposición, los explicativos desde la ciencia son complejos, dinámicos, consideran múltiples escalas, relaciones en el espacio y en el tiempo, y presentan la multicausalidad y el multiefecto, el azar y la indeterminación como elementos clave. Hay pues, al abordar el proceso de enseñanza y aprendizaje, una gran distancia

entre visión del alumnado y la visión experta. (Gómez *et al.*, 2004, p. 71)

Por tanto, es necesario crear estrategias que permitan reconstruir los modelos iniciales, no porque sean incorrectos, de tal manera que tengan mayor carácter explicativo.

A partir de lo anterior, en esta investigación entendemos por modelo explicativo las representaciones estudiantiles que se construyen y reconstruyen durante el proceso de escolaridad, las cuales buscan explicar cómo funciona el mundo y cómo pueden intervenir en él. Estos modelos explicativos estudiantiles pueden tener mayor o menor carácter explicativo, relaciones de similitud con el modelo real y uso de un lenguaje científico apropiado, dando cuenta de una construcción progresiva que a la vez permiten conformar una familia, manteniendo relaciones de semejanza, más no relaciones lógicas, que permiten funcionar como una teoría científica, según Giere (1992).

### **Historia de la ciencia para la enseñanza-aprendizaje de la ciencia escolar**

En primer lugar, es preciso aclarar qué entendemos por historia de la ciencia, una metaciencia que hace más significativa la naturaleza de la ciencia y que contribuye a la didáctica de las ciencias (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003), dado que “podría ser una fuente de episodios 'profundamente humanos' de construcción de conocimiento y actividad científica, sobre los que es factible reflexionar metafóricamente en forma fructífera. Usar la historia de la Ciencia como 'ambiente' es entonces, a nuestro juicio, una forma valiosa de contextualización de la naturaleza de la ciencia” (Adúriz-Bravo, 2009). Usar la historia de la ciencia como 'ambiente' es entonces, a nuestro juicio, una forma valiosa de contextualizar la actividad científica en el ámbito escolar, ya que además de motivar a los participantes permite mostrar actitudes, valores y relaciones entre las personas.

Esta noción de historia de la ciencia, según Gooday *et al.*, (2008), permite, probablemente de manera más eficaz, una comprensión amplia que caracterizan la complejidad de cómo la ciencia cambia, el carácter incompleto y la falibilidad de los modelos y teorías, superando la visión simple de reproducir el contenido de libros de texto y las rutinas de laboratorio. El incorporar la historia de la ciencia en la enseñanza-aprendizaje permite, además, que la idealización que se tiene de la actividad científica, tanto por parte del profesorado como del estudiantado, genere una visibilidad de la ciencia más humana y comprensible considerado la utilidad de las ciencias (Matthews, 2015).

Esta propuesta didáctica considera la historia de la ciencia, ya que pretende promover la construcción de conocimiento científico desde una visión compleja e integrada, que incluye distintos puntos de vista. Cabe destacar, como señala Camacho (2011), que no se pretende que el estudiantado o el profesorado sean convertidos en historiadores, sino más bien hacer uso de las fuentes que proporciona la historia de la ciencia y dirigirlas didácticamente para la enseñanza-aprendizaje de la ciencia escolar.

### Modelos cosmológicos en la ciencia escolar

La astronomía es considerada un área interdisciplinaria (Rodríguez, 2012), lo que puede ser una “ventaja para el proceso de aprendizaje en cuanto que favorece el establecimiento de relaciones conceptuales y, por tanto, el aprendizaje significativo; aunque también puede suponer un inconveniente y conducir a aprendizajes inconexos, meramente memorísticos, si las relaciones entre unidades didácticas no son las pertinentes” (García *et al.*, 1997, p. 225). En los últimos años se ha discutido la importancia de incluir elementos de la astronomía en la ciencia escolar, en especial considerando que es habitual que existan concepciones e ideas erróneas por la ciudadanía acerca de distintos fenómenos astronómicos de interés

general (Trumper, 2001; Palomar, 2013; Losada *et al.*, 2012; Rodríguez, 2012).

Como señalan Afonso *et al.*, (1995), García *et al.*, (1997) y Palomar (2013), es habitual que persistan concepciones alternativas en estudiantes y profesorado respecto a una visión geocéntrica del universo, dado que nuestra visión del espacio tiene como punto de referencia la Tierra. Por ello es difícil interiorizar que no somos el centro del Universo y superar ideas alternativas como que las estrellas están dentro del Sistema Solar; que las estrellas son cuerpos estáticos o que la luna solo “sale” de noche, entre otras. Estas ideas que promueven errores conceptuales han evidenciado la necesidad de iniciativas, que en lugar de conciliar ideas falsas con información correcta (Barrier, 2010), logren diferenciar la visión geocéntrica de la heliocéntrica y comprender la relación entre los movimientos reales de los astros y los aparentes, a fin de poner a prueba las ideas estudiantiles facilitando mejores aprendizajes (Martínez, 2004).

La ubicación del planeta Tierra dentro del Sistema Solar o del Universo son temáticas que se deben trabajar dentro de los programas de estudio ya que permiten responder varias interrogantes:

¿Dónde termina nuestro Sistema Solar?, ¿en la próxima estrella? (Aquí también podemos mencionar la natural confusión generada por la reciente re-clasificación de los planetas y el affaire Plutón, relegado a ser -de ahora en más- tan solo un planeta enano...). Nuestra ubicación en el Universo: la posición de la Tierra y del Sistema Solar en el Universo. ¿Ubicación?, ¿respecto de qué?, ¿existe un arriba y un abajo en el Universo? (Iglesias *et al.*, 2007, p. 70)

En el currículo nacional chileno (Mineduc, 2013) la astronomía hace parte del área de física y se incluye en la educación básica como el eje Tierra y el Universo, el cual tiene como objetivo general que el estudiantado aprenda a ubicar al planeta Tierra y también adquiera nociones acerca del Universo, considerando su evolución y los diversos modelos. En séptimo básico (11-12 años) el

propósito de este eje temático está orientado a que los estudiantes sean capaces de describir las características básicas de estructuras a nivel del Sistema Solar, como también macroestructuras y comparar distancias a través del uso de unidades de medida (Mineduc, 2013). En función del objetivo de este nivel, se decidió considerar como objeto de estudio, los modelos cosmológicos en relación con el Sistema Solar.

La historia de la ciencia presenta varios recursos que permiten analizar las representaciones que se han construido a lo largo de los años para explicar las posiciones de la Tierra y el Sol en el Sistema Solar. Esto permite que, además de comprender conceptualmente los modelos geocéntrico y heliocéntrico, sea factible de comprender otras nociones relacionadas con la naturaleza de la ciencia, como las que promueve el propio currículo nacional: “El conocimiento científico está basado en evidencia empírica, el conocimiento científico está sujeto a permanente revisión y a eventuales modificaciones de acuerdo con la evidencia disponible, el conocimiento científico se construye” (Mineduc, 2013, p. 145).

El conocimiento científico a lo largo del tiempo ha evolucionado debido a los nuevos descubrimientos, estos cambios que según Kuhn (2011) son revoluciones paradigmáticas permiten la evolución de la ciencia teniendo en cuenta que pueden mantenerse aspectos pasados, presentes y una mezcla entre ellos. Los anteriores elementos se pueden evidenciar en la evolución de los modelos cosmológicos, pues según Maza (2009), hay elaboraciones de distintos pueblos desde épocas muy remotas y siempre ha existido interés por estudiar la luna, el Sol y las estrellas a través de distintas observaciones. Podríamos decir que una de las primeras investigaciones se registra en el periodo neolítico (9000-3000 a.C.) “La curiosidad humana con respecto a fenómenos cíclicos como el día y la noche y a los movimientos y naturaleza de los astros” (Teso, 2009, p. 149).

Desde de la antigüedad se ha intentado entender y explicar cómo se representa el Universo.

Aristóteles pensaba por razones místicas que la Tierra era el centro, hasta que el siglo I d. C. surgió otra idea relacionada con la propuesta de Ptolomeo, quien afirmó que: “La Tierra permanecía en el centro, rodeada por ocho esferas que llevan a la Luna, el Sol, las estrellas y los cinco planetas entonces conocidos como: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno” (Hawking, 2010, p. 16). Posteriormente, se generarían varias controversias con otras ideas revolucionarias que fueron apoyadas años después por demostraciones físicas y matemáticas realizadas con apoyo instrumental del telescopio, por científicos como Kepler y Galileo en el siglo XVII.

A través de la historia de la ciencia, se han identificado varios modelos para explicar la posición de la Tierra y el Sol en el Sistema Solar. A continuación, se describen brevemente:

- a. El modelo geocéntrico responde entonces a la situación del planeta Tierra con respecto al Universo, considerando una *concepción geocéntrica* aquella en donde nuestro planeta ocupa una posición central (Afonso *et al.*, 1995). Esta idea se complementa al señalar que un modelo geocéntrico posiciona al planeta Tierra en el centro de este y que todo lo demás gira en torno a ella (De Rodríguez, 2005, p. 659). Este modelo se atribuye a Ptolomeo o Aristóteles, sin embargo, los aportes de estos dos autores fueron posteriores y consistieron en modificaciones a ideas anteriores (Pérez Rodríguez, Álvarez Lires y Serrallé, 2009).
- b. El modelo heliocéntrico se refiere a la ubicación del Sol. Con base en su localización y tamaño se ubica el resto de los elementos, tratándose de una *concepción heliocéntrica* cuando este astro resulta ser lo más destacado en el Sistema Solar (Afonso *et al.*, 1995). “El universo heliocéntrico está en concordancia con el modelo copernicano complementado y enriquecido con los aportes posteriores. El Sol es el centro del universo. La Tierra, como los

otros planetas, hacen parte de un Solo universo material” (De Rodríguez, 2005, p. 660).

- c. En el modelo acéntrico los diferentes astros pueden haberse agrupado formando unidades que se repiten, por ejemplo, galaxias, sistemas estelares, estrellas y planetas, mostrando una *concepción acéntrica* del Universo (Afonso *et al.*, 1995, p. 239). Por ende, este modelo responde a las modernas teorías cosmológicas desde las cuales el universo no tiene centro preferencial, la Tierra no tiene un estatus privilegiado. Además, “está en permanente evolución, es homogéneo a gran escala, tanto en la velocidad de expansión como en la distribución de la materia. Los bloques fundamentales son las galaxias” (De Rodríguez, 2005, p. 660).

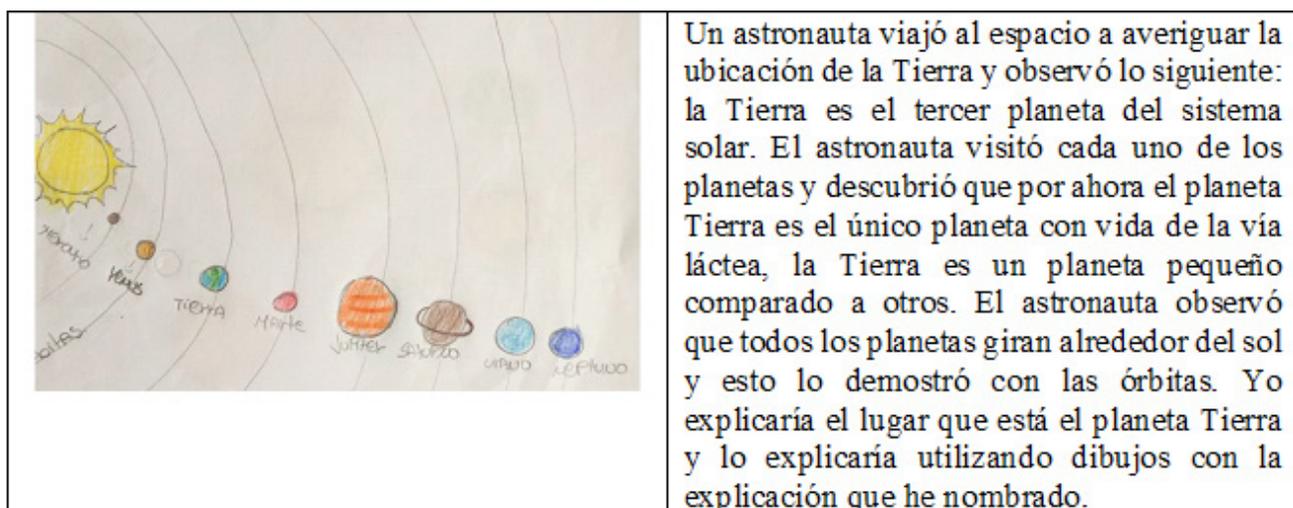
La necesidad del modelo heliocéntrico tiene un enorme significado intelectual, ya que representa tensiones entre la ciencia, el mito, la religión y la magia, aspectos que sustentan la complejidad y dinamismo de la construcción de conocimiento científico, tensiones que en general no son consideradas en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Afonso *et al.*, 1995, p. 327). No obstante, también supone una idea de discontinuidad

histórica entre los modelos científicos ya que supone un modelo previo incorrecto y un modelo correcto, que triunfa y da cuenta de aspectos que su predecesor no pudo explicar; así como un período vacío de avances científicos entre los aportes de Ptolomeo y Copérnico, una visión *revolucionaria* según Kuhn (2011).

A partir de los tres modelos cosmológicos anteriores se establecieron los criterios temáticos para proceder a los análisis y poder así, identificar y caracterizar los modelos estudiantiles. A pesar que en general los currículos escolares solo consideran los modelos geocéntrico y heliocéntrico, consideramos necesario tener en cuenta el modelo acéntrico, ya que supone nuevos avances científicos del siglo XXI, conocimientos que “no han traspasado el umbral de las aulas de clases de las instituciones educativas” (De Rodríguez, 2005, p.665).

## Metodología

La investigación se realizó con un grupo de 55 estudiantes (32 mujeres y 23 hombres) de séptimo básico, entre los 11 y 12 años, de un colegio particular subvencionado de la Comuna de Puente Alto, en Santiago de Chile. La propuesta



**Figura 1:** Ejemplo de dibujo y texto del estudiantado para el análisis.

**Fuente:** Elaboración propia.

metodológica, se desarrolló a través de una unidad didáctica basada en la historia de la ciencia para la enseñanza-aprendizaje de los modelos cosmológicos, temática que hace parte del eje Tierra y Universo. El diseño de la unidad se basó en el ciclo constructivista de aprendizaje (Sanmarti, 2000) y el modelo cognitivo de Ciencia (Giere 1992). Posteriormente, esta fue validada a través del juicio de expertos, en este proceso participaron dos especialistas del área de astronomía y una especialista en el área de la enseñanza de la astronomía.

La recolección de datos se realizó en las etapas de exploración y aplicación de la unidad didáctica, se consideraron estos momentos porque las actividades eran individuales, permitían considerar datos de naturaleza icónica y textual y estaban dirigidas hacia la elaboración de un dibujo y texto explicativo. El texto, además de permitir explicar la relación entre la Tierra y el Sol en el Sistema Solar, es una actividad que permite que el estudiantado reflexione sobre el contenido de manera de alcanzar un significado personal y que también estimule el desarrollo de habilidades de procesamiento, tales como organizar las ideas y el razonamiento, ya que según Hohenshell y Hand (2006) es una manera de promover un cambio conceptual. Al estar acompañado por un dibujo es posible ampliar dicha explicación ya que se representan relaciones en el Sistema Solar. Por ejemplo: las órbitas de los planetas, la distancia de estos entre sí, los tamaños de los planetas en relación al Sol, entre otras. Se buscó que el diseño y validación de la unidad didáctica resguardará que el contenido científico se abordará en consideración de los elementos propios de la naturaleza e historia de la ciencia, de tal manera de evitar lo que comúnmente ocurre:

Ofrecer una falsa imagen de cómo ha sido la evolución de los modelos astronómicos presentando el modelo heliocéntrico después del geocéntrico, como si fuese un recorrido histórico natural y lineal. De esta forma, se da una idea equivocada del difícil y controvertido camino que supone la historia de las ideas científicas. (Lanciano 1989, citado en Martínez, 2004, p. 66).

Una vez terminado este proceso, se siguió con la recolección de datos en donde se obtuvieron de naturaleza textual e icónica, como se muestra en la figura 1.

### Unidad Didáctica y recolección de datos

Las actividades desarrolladas dentro de la unidad didáctica se basaron en el ciclo de aprendizaje constructivista (Sanmartí, 2000). A continuación, se describen brevemente, haciendo énfasis en las etapas de recolección de datos.

- Actividad de exploración. El objetivo fue identificar los modelos previos del estudiantado a través de la siguiente *situación científica escolar problematizadora* (SCEP) (Camacho y Quintanilla, 2008), en donde debían ubicar el Planeta Tierra. (Ver recuadro inferior)  
Una vez realizada la actividad se analizaron los textos y dibujos, siguiendo los criterios de codificación y categorización planteados por Rodríguez y Gil (1999), de tal manera de caracterizar los modelos cosmológicos en el estudiantado.
- Actividad de introducción de nuevos contenidos. En esta etapa la intención fue promover que los modelos iniciales se enriquecieran y



La Nasa te invita a viajar por el Sistema Solar, con la condición de que al volver del viaje debes dibujar la ubicación del planeta Tierra, para explicar a tus familiares. Debido a que no llevaste cámara fotográfica. ¿Qué explicarías? ¿Cómo lo explicarías?

complejizarán. Para este propósito se desarrollaron actividades de discusión a partir de la película *Ágora* de Alejandro Amenábar. Estas actividades siguieron las orientaciones didácticas propuestas por García (2010) e incluían análisis de explicaciones científicas, caracterización de los modelos cosmológicos, indagación de historias científicas considerando el contexto y elaboraciones de biografías.

- Actividad de estructuración y síntesis. El objetivo de esta etapa fue que los estudiantes explicarán los que habían aprendido. Para esto, se propuso el diseño de una ficha histórica de los modelos cosmológicos en donde, además de conceptos científicos propios a cada modelo, debían incluir aspectos socio culturales e históricos que permitieran comprender el proceso de construcción del conocimiento científico.
- Actividad de aplicación. Finalmente, este ciclo se cierra con actividades que buscan transferir lo aprendido a nuevos contextos. En este sentido las actividades desarrolladas estuvieron orientadas a explicar las características del modelo heliocéntrico a través de diferentes modelos construidos. La primera actividad de esta etapa consistió en la elaboración grupal de una maqueta de uno de los modelos cosmológicos, el cual debía ser explicado a través de una narración oral en la que se incorporarán elementos históricos. La segunda actividad, la cual fue objeto de análisis para contrastar los

modelos iniciales, se realizó de manera individual y presentaba por la SCEP del recuadro inferior, que era más compleja que la de la etapa de exploración.

Estos datos se analizaron también siguiendo los criterios de codificación y categorización planteados por Rodríguez y Gil (1999), de tal manera de contrastar los modelos iniciales y finales.

### Plan de Análisis

Una vez obtenidos los datos, se procedió a realizar un análisis descriptivo e interpretativo (Sandín, 2003), el cual se llevó a cabo según la propuesta de Rodríguez y Gil (1999). En primer lugar, se preparó el material, es decir se transcribieron los datos y se clasificaron; luego, se dio paso a la codificación y categorización de los datos (textos y dibujos). Para esto se consideró como criterio temático la relación del Sol y la Tierra entre sí y con otras estructuras cósmicas en conjunto con los tres modelos cosmológicos descritos anteriormente. A partir de este proceso se identificaron los siguientes modelos escolares:

- Modelo 1: Sol y planeta Tierra. Se representa el Sistema Solar solo con la presencia del Sol y la Tierra. Se considera un modelo geocéntrico, ya que el planeta Tierra ocupa un lugar relevante el cual se destaca por su tamaño o ubicación en el dibujo.



**Cerro Tololo Inter-American Observatory**  
a division of the National Optical Astronomy Observatory

Después de finalizar tus estudios universitarios te has titulado como astrónomo(a) y se encuentra postulando para trabajar en el Observatorio del Cerro Tololo, con la posibilidad de solicitar para ser astronauta. Uno de los requerimientos para obtener el trabajo consiste en que debes dibujar la ubicación del planeta Tierra estando en el Sistema Solar y escribir un relato (una breve historia o un cuento) al respecto. ¿Qué explicarías? ¿Cómo lo explicarías?

- **Modelo 2: Sistema Solar lineal.** Este es un modelo heliocéntrico dado que el Sol representa un lugar privilegiado en el Sistema Solar. Hay presencia de varios planetas, los cuales están alineados con el Sol, dentro de estos se encuentra la Tierra.
  - **Modelo 3: Sistema Solar heliocéntrico con órbitas.** En este modelo el planeta Tierra ocupa el tercer lugar entre los demás planetas. Además, cada uno de estos posee su propia órbita y el Sol se encuentra ubicado en el centro del Sistema, iluminando a los planetas. De acuerdo con el número de órbitas descritas, se realizó una subdivisión de este modelo en:
    - Modelo 3A Sistema Solar heliocéntrico con menos de cinco órbitas.
    - Modelo 3B Sistema Solar heliocéntrico con más de seis órbitas.
  - **Modelo 4: Sistema Solar acéntrico.** Es el modelo más complejo, además de incluir los planetas y Sol, considera otras estructuras cósmicas como estrellas, galaxias, entre otros. A partir de estos modelos, se asignaron puntajes para cada uno en donde 1 correspondía al modelo más simple y 5 al más complejo. Después, se realizaron análisis estadísticos descriptivos y una prueba t student para identificar si existían diferencias significativas entre los modelos iniciales y los finales. Estos análisis se realizaron con el programa estadístico SPSS 21.
- consideró este modelo, el cual presenta el Sol de forma lineal en relación a otros planetas, cada uno de ellos están en la misma línea. Algunas descripciones presentan errores conceptuales con relación a la ubicación del planeta Tierra: “la Tierra es ubicada entre Marte y Saturno” (estudiante participante).
- **Modelo 3: Sistema Solar heliocéntrico con órbitas.** Este modelo se caracteriza por ubicar al planeta Tierra en el tercer lugar del Sistema Solar, presentar órbitas y el Sol iluminando a los planetas, “planeta Tierra es el tercer planeta del Sistema Solar, está en la tercera órbita, gira alrededor del Sol y en su propio eje” (estudiante participante). El modelo 3 se subdividió en dos debido a la presencia de mayor o menor cantidad de órbitas. El modelo 3A, presentada dibujos con menos de 5 órbitas, este fue identificado en 3 (5%) de las representaciones estudiantiles; el modelo 3B, poseía más de seis órbitas, cada una para un planeta, 9 estudiantes (16%) evidenciaron estas características.
  - **Modelo 4: Sistema Solar acéntrico.** Es uno de los modelos más complejos de las representaciones debido a que además de presentar al planeta Tierra y otros planetas, se incorporan estrellas, galaxias, naves espaciales, entre otros. 8 (15%) de los participantes presentaron este modelo “yo explicaría que desde el Sistema Solar somos otros planetas del universo y desde el universo somos una pequeñísima gota en una catarata y lo explicaría de la misma manera” (estudiante participante).

## Resultados

- **Modelo 1: Sol y planeta Tierra.** Este modelo es el más simple, ya que se caracteriza solo por la presencia del Sol y el planeta Tierra. El 15% de los participantes se clasificaron en este modelo. “El planeta Tierra se encuentra a miles de kilómetros del Sol” (estudiante participante).
- **Modelo 2: Sistema Solar lineal.** La mayoría de estudiantes del grupo participante (42%)

## Modelos explicativos del estudiantado durante la fase de aplicación

Para finalizar la unidad didáctica durante la etapa de aplicación, se identificaron tres de los cuatro modelos iniciales. En general se aprecia que estos modelos finales se caracterizaron por ser más complejos que los iniciales, en tanto que incorporaron nueva información, establecen varias relaciones, describen más detalles de las estructuras e

incorporan información contextualizada desde la historia de la ciencia. A continuación, se describen los resultados:

- Modelo 1: Sistema Solar lineal. Esta vez aparecen etiquetas con los nombres de las estructuras dibujadas y las textualidades incluyen más elementos descriptivos y contextuales 19 (35%) estudiantes explican la situación propuesta a través de este modelo.

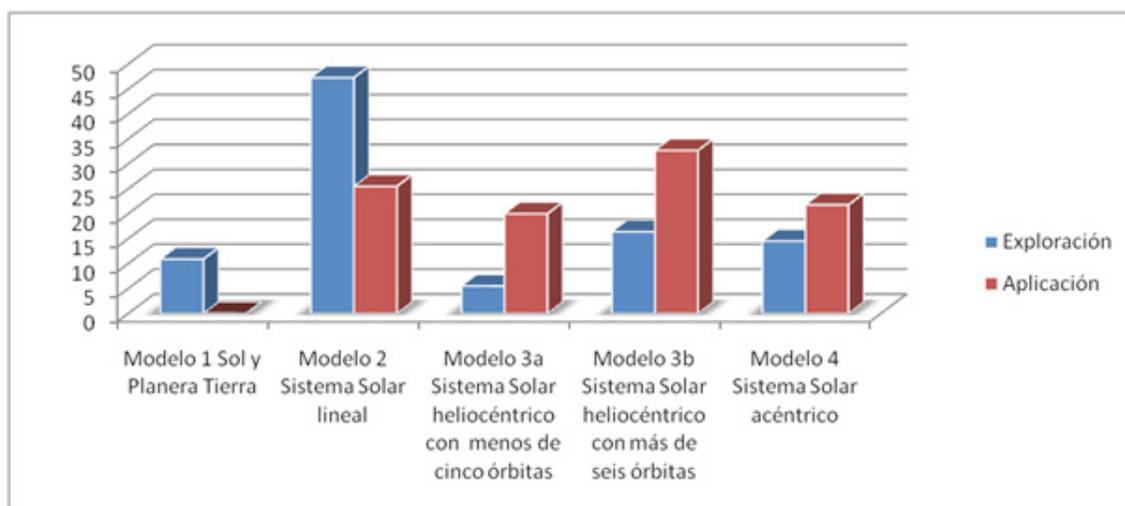
En la antigüedad el hombre creía que la Tierra era el centro y los demás planetas, la Luna y el Sol giraban a su alrededor, unos siglos después el científico Nicolás Copérnico descubrió que era el Sol el centro de los planetas y la Luna giraban alrededor del. Existen 8 planetas en total, 4 planetas rocosos y 4 gaseosos. 1). explicaría lo que creía el hombre en la antigüedad y quien descubrió lo contrario. 2). Lo explicaría a través de un breve resumen. (Estudiante participante).

- Modelo 3: Sistema Solar heliocéntrico con órbitas. En el segundo modelo identificado en la etapa de aplicación, al igual que en la exploración, se pueden diferenciar dos tipos según la cantidad de órbitas que se dibujan. El 7%

de estudiantes representó al Sistema Solar incluyendo menos de 5 órbitas y un 33% incorporó más de 6 órbitas en sus representaciones, siendo este un modelo más complejo según el modelo heliocéntrico.

La Tierra está ubicada en el tercer lugar que hay 4 planetas gaseosos y 4 planetas rocosos, el Sistema Solar es un modelo heliocéntrico, es decir el planeta está al centro. Los planetas rocosos se crearon mediante choques contra rocas. En la antigüedad se creía que la Tierra estaba en el centro, es decir geocéntrico (Estudiante participante).

- Modelo 4: Sistema Solar acéntrico. Este modelo, además, incluye detalles en los dibujos como la presencia de otras estructuras cósmicas, como la Luna, estrellas; también diferencia los planetas interiores de los exteriores. El 25% del total del estudiantado se clasificó en este modelo. "Cuando vas al espacio exterior, puedes morir o sobrevivir, pero esa experiencia, de ver los planetas, hoyos negros, y todas las diferentes estrellas, es una gran experiencia de bellezas. La Tierra está en el tercer lugar desde el Sol, entre Venus y Marte" (estudiante participante).



**Figura 2.** Resultados Generales de los modelos estudiantiles durante la etapa de exploración y aplicación.

**Fuente:** Elaboración propia.

## Resultados comparativos entre los modelos explicativos iniciales y finales

De acuerdo con el análisis descriptivo (figura 2), es posible afirmar que hay cambios entre los modelos iniciales y finales del grupo de estudiantes participantes. En particular, estos cambios se evidencian favorablemente en los modelos 1, 3 y 4. El 6, que consistía en el modelo más simple, no aparece en la fase final, esto puede deberse a la nueva información incorporada a través de las actividades desarrolladas en la fase de nuevos conocimientos de la unidad didáctica. El modelo 2 tiene mayor presencia en la etapa de exploración (42%) que en la etapa de aplicación (35%), lo cual puede explicarse a la representación generalizada lineal que aparece en los libros de texto y que no permite profundizar en imágenes tridimensionales que muestran el movimiento de los planetas de manera individual y la relación de estos con el sistema (Pérez Rodríguez *et al.*, 2009). Si bien hay un aumento del modelo explicativo 4 entre la etapa de exploración (15%) a la etapa de aplicación (25%), este cambio se debe principalmente a la incorporación de nuevos elementos (galaxias, estrellas, otros planetas) en los dibujos más que a la posición deslocalizada o sin centro preferencial del Sistema Solar en el Universo.

Según el análisis inferencial, realizado a través de la prueba estadística *t student*, la cual compara el promedio de los puntajes asignados de los modelos explicativos estudiantiles recolectados en la etapa de exploración ( $=2.60$ ,  $\delta=1,422$ ) con el promedio de los puntajes asignados a los modelos explicativos estudiantiles recolectados en la etapa de aplicación ( $=3.51$ ,  $\delta=1,103$ ), es posible sustentar que existen diferencias significativas entre los modelos iniciales y finales a favor de los últimos ( $Z=-5,213$ ,  $g|=54$ ,  $P>0,001$ ). Es decir, que la unidad didáctica que incorporaba la historia de la ciencia favoreció la construcción de modelos más complejos.

## Discusión y conclusiones

La construcción de los modelos explicativos estudiantiles corresponde a las características cognitivas de cada persona involucrada. No obstante, se encuentran aspectos que se pueden relacionar con construcciones colectivas evidenciada a través de la historia de la ciencia. Esto nos permitió identificar cuatro modelos en el grupo de participantes (Sol y planeta Tierra; Sistema Solar lineal; Sistema Solar heliocéntrico con órbitas y Sistema Solar acéntrico) que se caracterizaban por tener aspectos de los modelos cosmológicos geocéntrico, heliocéntrico o acéntrico.

A través de esta investigación, se evidencia que la incorporación de la historia de la ciencia intencionada desde la didáctica de las ciencias para la enseñanza-aprendizaje de los modelos cosmológicos permite mejorar los modelos estudiantiles al incluir nueva información relevante que, además de conceptualizar los modelos científicos, contextualiza la actividad científica y problematiza la naturaleza de la ciencia. Los modelos iniciales se caracterizaban por ser más simples, representar relaciones lineales, ser simplificados, aspectos que coinciden con otras investigaciones de distintos conceptos científicos (Camacho *et al.*, 2012; Rodríguez y Moreira, 2002). Como se señaló en los resultados, estos modelos en general solo representaban al Sol y la Tierra de forma lineal con algunos planetas dentro del Sistema Solar, demostrando errores conceptuales frente a la propuesta curricular que propone un modelo heliocéntrico como patrón. Una vez se desarrolla la unidad didáctica y se abordan actividades que incluyen aspectos de la historia de la ciencia, estos modelos incluyen nuevos aspectos y representan relaciones más dinámicas, complejas y flexibles, lo que evidencia un progreso en la construcción de conocimiento escolar, según señalan Bahamonde (2006) y Justí (2006).

También es posible concluir que los modelos más complejos y contemporáneos, como el acéntrico, se identifican poco en los modelos estudiantiles (15%

en la etapa de exploración y 25% en la etapa de aplicación). Esto se puede deber a dos razones: la amplia representación generalizada del Sistema Solar lineal que aparece en los libros de texto (Pérez Rodríguez *et al.*, 2009) y que aún persiste una imagen estática y aporreada en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias que no incluyen conocimientos para comprender la naturaleza dinámica de la actividad científica, aspecto que se desea superar desde la propuesta curricular actual (Mineduc, 2013).

Finalmente, es posible concluir que la unidad didáctica diseñada desde el ciclo constructivista de aprendizaje (Sanmartí, 2000) mejoró significativamente los modelos explicativos del estudiantado. Estos son factibles de ser enriquecidos a través de nuevos procesos de modelización científica como: construcción y utilización de instrumentos de observación, visitas a planetarios, demostraciones experimentales o incorporación de representaciones tridimensionales a escala, que permitan ejemplificar los cuerpos celestes y sus movimientos. Estas actividades pueden promover modelos más cercanos a los modelos científicos eruditos del Sistema Solar (Losada *et al.*, 2012).

## Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. (2009). La naturaleza de la ciencia "ambientada" en la historia de la ciencia. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, 1177-1180.
- Afonso López, R., Bazo González, C., Macau Fábrega, M. D., López, M. y Rodríguez Palmero, M. (1995). Una aproximación a las representaciones del alumnado sobre el Universo. *Enseñanza de las ciencias*, 13(3), 327-335.
- Arzola, N., Muñoz, T., Rodríguez, G. y Camacho, J. (2011). Importancia de los modelos explicativos en el aprendizaje de la Biología. *Revista ciencia escolar, enseñanza y modelización*, 1(1), 1-8.
- Bahamonde, N. (2006). *Los modelos de conocimiento científico escolar de un grupo de maestras de educación infantil: un punto de partida para la construcción de islotes interdisciplinarios de racionalidad y racionalidad sobre la alimentación humana*. (Tesis doctoral). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Barrier, R. (2010). Astronomical misconceptions. *The Physics Teacher*, 48(5), 319-321.
- Camacho, J. (2011). La historia de la teoría electroquímica y su contribución a la promoción de la explicación científica en la química escolar. *Revista científica*, 14(1), 8-20.
- Camacho, J. (2014). La explicación científica escolar. Un análisis desde la enseñanza y el aprendizaje de la teoría electroquímica. En: Merino, C.; Arellano, M. y Adúriz-Bravo, A. (eds.) *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguajes*. (pp. 131-142). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Camacho, J. y Quintanilla, M. (2008). Resolución de problemas científicos desde la historia de la ciencia. Retos y desafíos para promover competencias cognitivo lingüísticas en la química escolar. *Ciência & educação*, 14(2), 197-212.
- Camacho, J., Jara, N., Morales, C., Muñoz, T., Pezoa, V., Rodríguez, G. y Rubio, N. (2012). Los modelos explicativos del estudiantado de 8vo básico acerca de la célula eucarionte animal. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 9(2), 196-212.
- Cofré, H. (ed.) (2010). *Cómo mejorar la enseñanza de las ciencias en Chile*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Cardenal Silva Henríquez.
- De Rodríguez, B. L. y Sahelices, C. C. (2005). Representaciones mentales de profesores de ciencias sobre el universo y los elementos que incorporan en su estructura en general y los modelos cosmológicos que lo explican. En *Actas del II encuentro iberoamericano sobre investigación básica en educación en ciencias*. Universidad de Burgos, Burgos 21-24 de septiembre de 2004.
- Eder, M.L. y Adúriz-Bravo, A. (2008). La explicación en las ciencias naturales y en su enseñanza: Aproximaciones epistemológica y didáctica. *Revista latinoamericana de estudios educativo*, 4(2), 101-133.

- García Barros, S., Mondelo Alonso, M., Martínez Losada, C. y Vega Marcote, P. (1997). La astronomía en textos escolares de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 225-232.
- García Borrás, F.J. (2010). Ágora: una aproximación al nacimiento del saber científico. *Revista eureka sobre enseñanza y divulgación científica*, 7(3), 708-728.
- Giere, R. (1992). *Understanding scientific reasoning*. Chicago, EE.UU.: Holt Rinehart, Winston.
- Gómez, A., Márquez, C., Roca, M. y Sardá, A. (2004). La construcción de modelos explicativos complejos mediante preguntas mediadoras. *Investigación en la escuela*, (53), 71-82.
- Gooday, G. et al., (2008). Does science education need the history of science? *Isis*, 99(2), 322-330.
- Hawking, S. (2010). *La teoría del todo: el origen y el destino del universo*. Madrid, España: Debate.
- Hohenshell, L. y Hand, B. (2006). Writing to learn strategies in secondary school cell biology: a mixed method study. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 261-289.
- Iglesias, M., Quinteros, C. y Gangui, A. (2007). Astronomía en la escuela: situación actual y perspectivas futuras. *Actas de la XV reunión nacional de educación en la física*. San Luis, Argentina: Asociación de profesores de física de Argentina.
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Kuhn, T. S. (2011). *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Losada, M. V., Rodríguez, U. P., Miguel, A. M. U. y Correa, A. A. (2012). Problemáticas del proceso de enseñanza y aprendizaje de la Astronomía. *Boletín das ciencias*, 25(76), 107-109.
- Martínez, B. (2004). La enseñanza/aprendizaje del modelo Sol-Tierra: Análisis de la situación actual y propuesta de mejora para la formación de los futuros profesores de primaria. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, (1), 7-32.
- Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- Matthews, M.R. (2015). *Science teaching: the contribution of history and philosophy of science* (20<sup>th</sup> anniversary revised and expanded edition). New York: Routledge
- Maza, J. (2009) *Astronomía contemporánea*. Santiago, Chile: Ediciones B.
- Merino, C., Gómez, A. y Adúriz-Bravo, A. (coords.) (2008). *Áreas y estrategias de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales*. España, Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Ministerio de Educación Nacional. Unidad de Currículo y Evaluación (Mineduc). (2013). *Bases curriculares*. Santiago, Chile: Mineduc, Unidad de currículo y evaluación.
- Palomar, R. (2013). *Enseñanza y aprendizaje de la astronomía en el bachillerato*. (Tesis Doctoral). Valencia, España: Universidad de Valencia.
- Pérez Rodríguez, U., Serrallé Marzoa, J. F. y Álvarez Lires, M. (2009). Los errores de los libros de texto de primer curso de ESO sobre la evaluación histórica del conocimiento del universo. *Enseñanza de las ciencias*, 27(1), 109-120.
- Rodríguez Vega, G. H. (2012). *Los cuerpos celestes, una aproximación a los lineamientos de astronomía como asignatura de la educación media* (Tesis doctoral). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Rodríguez, G. y Gil, J. (1999). *Metodología de la investigación cualitativa*. Málaga: Ediciones Aljibe.
- Rodríguez, M. y Moreira, M. (2002). Modelos mentales vs. esquemas de célula. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1), 77-103.
- Sandín, M. (2003). *Investigación cualitativa en educación*. Madrid: McGraw Hill.

Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En: Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.) *Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 239-266). Madrid: Marfil.

Sanmartí, N. e Izquierdo, M. (1998). Enseñar a leer y escribir textos en ciencias. En: Jorba, J., Gómez, L. y Prat, A. (eds.) *Hablar y escribir para aprender* (pp. 181-199). Bellaterra: ICE de la UAB.

Teso Vilar, E. (2009). Historia de la astronomía a través de los instrumentos de observación. *100@uned* (2), 149-162.

Trumper, R. (2001). A cross-college age study of science and non-science students' conceptions of basic astronomy concepts in preservice training for high school teacher. *Journal of Science Education and Technology*, 19(1), 189-195.

