

# Un recorrido histórico por algunas concepciones del mundo

A historical journey through some conceptions of the world

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Diego Petrucci<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, 1 y 47, La Plata, CP 1900, Buenos Aires. Argentina.

E-mail: diegope@gmail.com

## Resumen

En este artículo se efectúa un recorrido histórico que tiene como eje a las ideas que desde la antigüedad han influido sobre nuestras concepciones del mundo, entendidas en un sentido amplio, pero orientadas a aquellas concepciones que han influido en las cosmologías, es decir en las concepciones científicas del universo. Nos referimos a preguntas como ¿De qué está hecho el universo? O ¿Qué es lo que existe? Las concepciones del mundo han ido históricamente definiendo tradiciones culturales que impregnan nuestra cultura y atraviesan las visiones científicas de cualquier disciplina. Este recorrido finaliza con la concepción de mecanicismo del s. XX. Lo haremos además considerando que nuestro interés se centra en la enseñanza de las ciencias naturales. La concepción del mundo que tenga un ciudadano es determinante del lugar que le otorgará a las ciencias, por ejemplo, en la toma de decisiones o en sus intentos de comprender cuestiones que le preocupen.

**Palabras clave:** Cosmologías; Concepciones científicas del mundo; Mecanicismo.

## Abstract

In this article, we make a historical journey that focus on the ideas that from the antiquity have influenced our conceptions of the world, understood in a broad sense, but oriented to those conceptions that have influenced in cosmologies, that is, in the scientific conceptions of the universe. We are referring to questions such as what is the universe made of? Or, what is there? The conceptions of the world have historically defined cultural traditions that permeate our culture and cross the scientific visions of any discipline. This course ends with the twentieth century mechanism conception. We will do it further considering that our interest is centered in the teaching of the natural sciences. The conception of the world that has a citizen is determinant of the place that it will give to the sciences, for example, in the decision making or in its attempts to understand issues that concern to him.

**Keywords:** Cosmologies; Scientific conceptions of the world; Mechanicism.

## I. INTRODUCCIÓN

Hace tiempo ya que se han dado argumentos convincentes sobre la importancia y la utilidad de la historia de las ciencias naturales para su enseñanza (Fernández González, 2000; Matthews, 1994). La historia de las ciencias puede aportar a la enseñanza en múltiples aspectos entre los que se destacan en este trabajo poner de manifiesto la historicidad y las dimensiones humana y social de la ciencia y contribuir a una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia. En este sentido pretende ser un aporte para la reflexión de los docentes de ciencia.

Proponemos realizar un recorrido histórico por las concepciones del mundo<sup>1</sup>. Este recorrido es importante por cuatro razones. La primera es que la concepción del mundo ocupa un lugar relevante en la historia de la ciencia. Conocer cómo se concebía al mundo en cada época nos permite comprender mejor el trabajo de los filósofos naturales y de los científicos. La segunda razón es que la historia de estas visiones permite comprender el origen de muchas características de nuestra cultura contemporánea, como se evidenciará en las conclusiones. La tercera razón es que nuestra propia visión del mundo subyace,

<sup>1</sup> En este trabajo utilizamos mundo en el sentido de cosmos o universo. Los antiguos griegos utilizaban el término cosmos (κόσμος) que significa orden, belleza, de allí deriva cosmética. Es decir que el mundo era un sistema complejo y ordenado. Su opuesto era el caos (χάος). En latín el cosmos era el *mundus*, de donde viene mundo. Es interesante notar que *mundus* significa limpio, su opuesto es inmundo. *Universus* era un término que en latín denotaba a uno y todo lo que lo rodea. Actualmente usamos 'universo' con ese sentido. Tardíamente *universus* comenzó a utilizarse como *mundus*.

implícita o explícitamente, en nuestras vidas cotidianas, decisiones, modo de vivir. Si pensamos que el mundo es un lugar mágico, creado por un mago que dejó pistas sólo descifrables por iniciados puedan interpretarlas y así comprender el mundo, actuaremos de un modo bien diferente a si pensamos que el mundo es una máquina, cuyas regularidades nos permite “descubrir” reglas por medio de la razón, la observación y la experimentación. Son sólo dos ejemplos estereotipados, entre muchas otras visiones posibles. Este argumento nos da pie a la cuarta razón. La visión del mundo está íntimamente ligada a cómo podemos conocer, y viceversa. Cabe aclarar que no estamos proponiendo una visión reduccionista de la ciencia, es decir, no estamos basándonos en la idea de que se podrá reducir todo conocimiento científico a una teoría básica que explique desde la composición del tiempo, el espacio y la materia hasta la sociología (Labarca y Lombardi, 2008). Sin embargo, la visión del mundo –como lo muestran los ejemplos anteriores– nos orienta sobre cómo investigar, sobre cuáles son los métodos y las actitudes que debemos asumir para saber más acerca de él. Por ello, este recorrido se vincula con la concepción de ciencia y de actividad científica.

Para empezar, ¿qué sabemos sobre lo que se observa en el cielo a ojo desnudo?, si fuéramos un antiguo egipcio ¿qué objetos podemos identificar?, ¿cómo se mueven? Los ciudadanos escolarizados de nuestra sociedad solemos saber poco sobre estas cuestiones. Esta situación nos lleva a reflexionar sobre cómo la cultura y la tecnología hicieron que no necesitemos mirar ni conocer el cielo. Los relojes permitieron saber la hora sin mirar al Sol y una radio o un teléfono celular con conexión a Internet nos indican si hay sol o si llueve sin mirar el cielo. La mediación tecnológica nos aleja de las fuentes. Pero nuestra intención aquí no es declamar que todo tiempo pasado fue mejor, sino analizar cómo enseñamos las ciencias y cómo enseñamos cómo se elaboró el conocimiento científico. Es sabido que se suelen enseñar los resultados de la investigación (el conocimiento obtenido) y no cómo se construyó el mismo.

¿Cómo sabemos lo que sabemos sobre las estaciones, el sistema solar, el universo? La enseñanza de saberes conceptuales desvinculada de los datos y de los contextos de elaboración de esos saberes lleva a que los alumnos no encuentren diferencias entre el conocimiento científico y otros saberes de tipo dogmáticos (Knopoff y otros, 2015; Lederman, 2007; Montino, Petrucci y Ure, 2006). Por otra parte, las relaciones entre observación, datos, interpretación y teoría en las ciencias no son triviales. La observación del cielo, por más elemental que sea, involucra una carga teórica (Kuhn, 1971), que incluye una concepción del mundo. Lo mismo ocurre con la interpretación de los datos. Por su parte, la elaboración de una estructura teórica que organice las observaciones incluye necesariamente un componente creativo. Es decir que para responder la pregunta que inicia este párrafo, no sólo debemos conocer la historia de esos conocimientos, sino que debemos asumir –implícita o explícitamente– una postura epistemológica. Sostenemos que el conocimiento científico enseñado tiene que estar anclado en las observaciones que permitieron su construcción y enmarcado en un contexto social e históricamente situado. Por ello planteamos como ejercicio, identificar qué se observa al mirar el cielo a ojo desnudo, como lo hacía un antiguo egipcio. Es un ejercicio, pues no podemos imaginar cómo era la observación del cielo en el antiguo Egipto. El “cielo” sería “esencialmente” similar, pero la carga teórica involucrada en la observación (o si se quiere, las representaciones personales del observador) son bien distintas, pues se trata de culturas diferentes. Nosotros, a ojo desnudo, observamos estrellas, el Sol, la Luna y 5 planetas, entre otros objetos. Observando desde la Tierra, es decir estableciendo un marco de referencia fijo a ella, estos objetos giran alrededor de la Tierra en sentido de Este a Oeste. Cuando nos referimos a un giro o una vuelta, estamos indicando dos pasos sucesivos por el meridiano celeste:

- Las estrellas parecen mantener sus posiciones relativas entre sí en el tiempo. De hecho diversas culturas han imaginado figuras formadas por grupos de estrellas, las constelaciones. Aparentan una gran esfera rígida que gira uniformemente hacia el Oeste y así es como se la concebía. Esta esfera da más de un giro completo por día, es decir una vuelta más  $1/365$ . Cada noche a la misma hora, la esfera de estrellas avanza una fracción de vuelta. Al cabo de un año la suma de esas fracciones completa aproximadamente una vuelta más.

- El Sol da una vuelta por día. El día se ha definido históricamente de dos maneras, como el período de luz solar, que alterna con la noche – que es el intervalo en el cual el Sol no está sobre el horizonte– o como el tiempo transcurrido entre dos eventos: dos amaneceres, atardeceres o dos pasos del Sol por un meridiano, ya sea el mediodía o la medianoche (Plinio, 1847). Es decir que la definición de día está ligada al movimiento del Sol. El Sol recorre el cielo realizando trayectorias levemente diferentes cada jornada lo que permite explicar las estaciones de un modo local. El Sol gira –siempre considerando fija a la Tierra– más lentamente que las estrellas, al cabo de un año el Sol habrá dado 365 vueltas y las estrellas 366. Cada año el Sol vuelve a pasar por los mismos lugares sobre la esfera de estrellas. Esta trayectoria forma un círculo máximo sobre la esfera de estrellas que fue llamado *eclíptica*.

- La Luna es el cuerpo celeste que gira más lento respecto de la Tierra fija (si consideramos fijas a las estrellas, es la que va más rápido). Se retrasa respecto al Sol algo menos de una hora por día. La Luna

refleja la luz solar, lo que puede apreciarse sosteniendo con nuestra mano una pelota al Sol alineada entre nuestros ojos y la Luna, veremos que ambas esferas quedan iluminadas igual. Esta reflexión y las posiciones cambiantes del Sol y la Luna, hacen que desde la Tierra veamos las fases, que se repiten cada unos 29,5 días. Además, la Luna siempre está cerca de la *eclíptica*.

- 5 planetas que giran con la esfera hacia el Oeste, pero tienen además movimiento propio respecto de la esfera. La palabra planeta en griego significa estrella errante. Los planetas que se ven a simple vista son Júpiter, Marte, Mercurio, Saturno y Venus. El movimiento de cada uno de ellos es diferente y están confinados a una región del cielo en la que está la eclíptica, que los caldeos llamaron zodíaco.

- Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno marchan con cada uno con su período –bien disímiles– y con velocidades variables a lo largo de cada ciclo. En general estos movimientos se dirigen hacia el Este respecto de las estrellas, pero por momentos cambian de dirección, hacia el Oeste. A este comportamiento se lo llamó *movimiento retrógrado*.

- Mercurio y Venus siempre están cerca del Sol, por lo que son visibles sólo al amanecer o al atardecer.

- También está la cuestión del brillo. El Sol tiene una intensidad –a simple vista– bastante uniforme. La Luna tiene sus fases y algunos planetas tienen brillo más uniformes y otros más variables.

Mediante las interacciones entre la concepción del mundo y las observaciones inmersas en cada cultura ambas –concepción y observaciones– se fueron modificando, sin perder de vista que el proceso se da en un marco cultural y social. Esta afirmación se basa en una postura epistemológica explícita, que incluye la concepción de que los marcos teóricos (las cosmovisiones en este caso) condicionan las observaciones y las observaciones llevan a reelaborar los marcos teóricos. Algunas cosmovisiones de la antigüedad fueron más influyentes que otras sobre pueblos vecinos y sobre los que los sucedían.

Para la descripción realizada no son necesarios más instrumentos que el horizonte y el meridiano. Los relojes permitieron establecer los tiempos con mayor precisión. Por ejemplo, el Sol da una vuelta respecto de las estrellas cada 23h 56m 4s. La Luna, tarda 24h 50m 28s. El período orbital más breve es el de Mercurio, 88 días y el mayor es el de Saturno, 29,5 años.

## II. LAS CONCEPCIONES DEL MUNDO EN LA ANTIGÜEDAD

Haremos un recorrido por las diferentes concepciones del mundo que consideramos que influyeron directa o indirectamente en la revolución científica europea del s. XVII.

La concepción del mundo de los antiguos egipcios era una ostra cerrada, en la cual la Tierra formaba el suelo y el cielo era una vaca o una mujer apoyada sobre codos y rodillas por el cual fluía un río. La Vía Láctea era el gemelo celeste del Nilo. Una cerda atacaba al dios Luna y lo devoraba, eso provocaba las fases de la Luna (Boido, 1996).

Para los babilónicos el universo era una ostra redonda, rodeada por agua. La Tierra era una montaña hueca situada en el centro, que flotaba en agua, lo que explicaba las fuentes y manantiales. Sobre ella había un domo, cubierto por agua, de donde surgía la lluvia. Los astros avanzaban por el domo, entrando y saliendo por puertas (Boido, 1996).

En estas dos visiones –muy parecidas al relato bíblico (Sellés García, 2015)– encontramos universos finitos, contenidos, lo que daría una idea de seguridad, de contención. También se aprecia que reproducían en el cielo elementos importantes de su entorno.

Los antiguos egipcios no habían realizado observaciones sistemáticas, mientras que los babilónicos sí. Las regularidades encontradas les permitieron calcular la duración del año, armar los primeros calendarios de la región y predecir eclipses. Su mundo también incluía suposiciones mitológicas. Algunos autores identifican en esa época el comienzo de la ciencia. Dice Boido (1996):

*...ciertos filósofos podrán afirmar con sólidas razones que la astronomía babilónica, con su énfasis en la recopilación de observaciones y la búsqueda de regularidades, señala una etapa fundacional de la investigación científica, aunque no hallemos todavía en ella la exigencia teórica característica del pensamiento griego... (pp. 22–23).*

Pero esta opinión no es unánime,

*...la ciencia occidental ‘no empezó con la recolección de observaciones sobre naranjas sino con intrépidas teorías acerca del mundo’. De coincidir con Popper, el acta de nacimiento de la ciencia quedaría fechada en el s. VI a. C., o poco antes, con el surgimiento de las audaces cosmologías teóricas debidas a los filósofos presocráticos. (Popper, como se citó en Boido, 1996, p. 23).*

Varios filósofos de la antigua Grecia elaboraron modelos de **cosmos**. Agregaron un nuevo componente a sus propuestas, los modelos teóricos. Ya no alcanzaba con creencias y dioses, los modelos debían ser compatibles con las observaciones. Por ejemplo Anaximandro de Mileto (600 a. C.) concebía un cosmos infinito en tiempo y espacio. La materia era una sustancia sin propiedades definibles, aunque indestructible y eterna. La Tierra era una columna rodeada de aire que flotaba en el centro del universo y estaba envuelta en varias capas esféricas. El Sol y la Luna eran dos pinchazos en un aro y las estrellas eran alfilerazos en una tela oscura, que dejaban ver el fuego cósmico que hay entre dos esferas (Boido, 1996).

Pitágoras (s. VI–V a. C.) fue discípulo de Anaximandro y de Tales. Él y sus seguidores creían que los principios del conocimiento se encontrarían en los números y sus relaciones armoniosas, como la que habían encontrado entre la altura de un sonido y la longitud de una cuerda.

Los griegos Leucipo y Demócrito (s. V a. C.), Epicuro (s. IV a. C.) y el romano Lucrecio (s. I a. C.) propusieron cosmologías atomistas. Imaginaron un cosmos infinito y vacío en donde se mueven los constituyentes indestructibles de la materia. La Tierra era un cuerpo formado por estas partículas y había infinitos cuerpos como el Sol, la Tierra, los planetas y las estrellas. Ninguno estaba en reposo y el cosmos no tenía centro, pues era infinito (Boido, 1996).

Filolao (s. V a. C.), uno de los pitagóricos, propuso que todos los cuerpos celestes (incluso el Sol) giran alrededor de un fuego central (Boido, 1996).

Platón (s. V–IV a. C.) fue discípulo de Sócrates y posiblemente tuvo influencias de Filolao e indirectamente de Pitágoras. Dentro de esa tradición, para Platón, las entidades del mundo sensibles eran imperfectas, mientras que las ideas eran únicas e inmutables. Es la analogía que describe en el mito de la caverna que está en *La República*. Se accede a la realidad mediante la razón, mientras que los sentidos resultan engañosos. Detrás de lo que cambia, de lo que captan nuestros sentidos, existe una realidad trascendente e inmutable: el mundo real de las formas o ideas, en el que reinan la belleza, la perfección y la armonía. A esta realidad sólo es posible acceder por medio del intelecto. La evidencia sensorial es engañosa, el auténtico conocimiento es el de las formas. Un círculo dibujado se acercará más o menos a la perfección, pero la “circularidad” pertenece al mundo de las formas. Podemos formular creencias acerca de lo particular, pero podemos acceder por medio del intelecto al mundo de las formas para lograr auténtico conocimiento. Para ello hay que entrenarse en matemática (Boido, 1996).

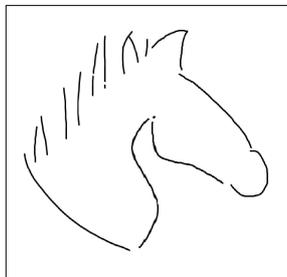
Dice Boido, “*Se atribuye a Platón, a principios del s. IV a. C. el haber formulado por primera vez la índole del problema que iba a desvelar a los astrónomos hasta la época de la revolución científica*” (Boido, 1996, p. 26). Luego agrega:

*Para Platón, el movimiento aparente de los planetas, esto es, el que captan nuestros sentidos cuando contemplamos el firmamento, es antiestético y desordenado, y por ello es necesario intelegir la real armonía de los astros, en el mundo de las formas, con el recurso previo a la geometría. (Boido, 1996, p. 27).*

No buscaba un modelo astronómico útil a agricultores o navegantes, eso no era digno de la filosofía, buscaba inteligir el orden reinante en el firmamento. El modelo teórico del movimiento planetario debía constar únicamente de movimientos circulares uniformes. Esta condición platónica sería respetada por los astrónomos hasta principios del s. XVII. En el cosmos así concebido, el número era la esencia de todas las cosas. Los misterio serían descifrado en términos numerológicos (Boido, 1996).

Aristóteles (s. IV a. C.), fue discípulo de Platón. Antes de adentrarnos en su teoría cosmológica, veamos resumidamente aspectos de su filosofía, debido a que muchas ideas originales de Aristóteles hoy resultan de sentido común y otras concepciones suyas actualmente son difíciles de concebir, por estar alejadas de nuestras visiones. De este modo intentaremos reducir el anacronismo con el que vamos a interpretarlo. Para Aristóteles existía la *sustancia* en la que participaban dos principios metafísicos reales: uno activo, la *forma*; otro pasivo, la *materia*. La *forma* era la generalización de la experiencia sensorial; la identidad que persistía a través de la variedad y los cambios percibidos por los sentidos. Es lo que hace que un garabato nos parezca, por ejemplo, una cabeza de caballo (ver figura 1). La *materia* permite que cada ser individual sea lo que es: este caballo (ver figura 2). La materia estaba compuesta por combinaciones de cuatro elementos, tierra, agua, aire y fuego; idea que tomó de Empédocles (s. V a. C.). El universo tenía un centro y cada elemento tenía su lugar natural. La tierra y el agua se dirigían hacia el centro del universo y el aire y el fuego se alejan de él. El elemento que predominaba en un objeto era el que determinaba su lugar natural en el cosmos. Cuando era sacado de ese lugar, un movimiento natural lo devolvía al mismo. Por eso el elemento tierra se había concentrado en el centro del universo. Luego había capas esféricas de agua, aire y fuego. En el espacio supra lunar se encontraba un quinto elemento, el éter, incorruptible. Este espacio era perfecto, constituido por esferas cristalinas que realizaban movimientos circulares uniformes, que eran los movimientos perfectos y por ende perpetuos. El cielo de Aristóteles era inmutable. En la región sublunar se encontraba la corrupción y la imperfección. No aceptaba el atomismo

y dedicó largos fragmentos a cuestionarlo. Planteaba, por ejemplo, que si la materia fuera discreta, el espacio también lo sería, es decir que un objeto al moverse “saltaría” de un lugar del espacio a otro. Para Aristóteles la existencia del vacío era una contradicción. De admitirla, debería aceptar un universo infinito, pues no habría razón para que una cosa en movimiento en el vacío deba detenerse. En el vacío un objeto podría moverse *ad infinitum*, lo cual resultaba absurdo pues no encontraba evidencia de cuerpos que se muevan así (Boido, 1996).



**FIGURA 1.** Garabato en el que identificamos la “forma” de una cabeza de caballo.

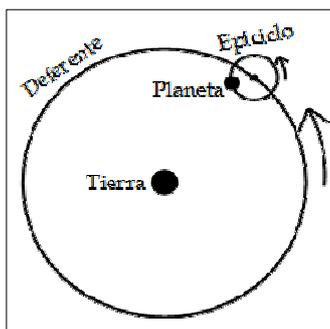


**FIGURA 2.** Fotografía de un caballo compuesto por materia.

La cosmología aristotélica es la más acabada de la antigüedad. Recurrió a la astronomía planetaria de Eudoxo, para proponer un cosmos finito, limitado por la esfera de las estrellas, con la Tierra en el centro y rodeada por caparazones esféricos. No hay otros mundos. La esfera exterior de estrellas era movida por un "motor inmóvil", una entidad metafísica que era puro acto y pura forma. Para los aristotélicos medievales esta entidad sería Dios. La esfera exterior transmitía el movimiento a las esferas internas. La primera esfera alrededor de la Tierra era la que contenía a la Luna. En total había 56 esferas conformando un sistema físico de transmisión de movimientos. No era un modelo geométrico ni cinemático (Boido, 1996).

En el siglo siguiente al de Aristóteles, el s. III a. C., Aristarco propone que la Tierra, además de girar sobre su eje para producir los días, se traslada girando alrededor del Sol. Su teoría no tuvo adeptos (Boido, 1996).

En este siglo, el epicentro de la cultura mediterránea se trasladó a Alejandría. La ciencia alejandrina incorporó a su raíz griega conocimientos de origen egipcio y mesopotámico, resultó menos filosófica, más cuantitativa y más “práctica”. Arquímedes (s. III a. C.) conjugó el más alto nivel matemático y el más célebre ingeniero de la antigüedad. Los astrónomos alejandrinos, en posesión de los registros astronómicos babilónicos, egipcios y caldeos (de gran precisión) encararon el problema de los planetas desde una perspectiva más fructífera. Sobre la base de Aristóteles y muchos otros filósofos griegos, los alejandrinos mantuvieron la idea de una gran esfera de estrellas que rota alrededor de una Tierra esférica central e inmóvil. Introdujeron una construcción geométrico-cinemática para explicar el movimiento de los planetas. En el s. II a.C al modelo de esferas concéntricas (llamadas *deferentes*), le agregaron esferas menores (*epiciclos*), cada planeta tenía un deferente y un epiciclo. De este modo, cuando el planeta se acerca a la Tierra se producen las retrogradaciones y aumenta el brillo y el tamaño aparente, lo cual coincide con las observaciones (figura 3). Pero estos elementos, con la restricción de que los movimientos sean circulares y uniformes, no eran suficientes para explicar los movimientos observados. Tampoco servía para el Sol, que no retrograda pero su velocidad es variable. Ptolomeo, en el s. II d.C introdujo un nuevo artificio, el *ecuante* y luego se agregaron *epiciclos menores* y *circunferencias excéntricas*, para intentar que el modelo se ajuste a los datos observacionales, perdiendo ya toda la elegancia que Platón planteaba para los movimientos circulares. Ptolomeo, el último gran astrónomo de la antigüedad compiló el saber astronómico de su época en el libro *Almagesto*. El resultado no fue un mecanismo explicativo como el de Aristóteles, sino un procedimiento de cálculo, que encima era bastante ineficaz (Boido, 1996).



**FIGURA 3.** Los deferentes y los epiciclos introducidos en el s. II en Alejandría.

Durante estos siglos de ciencia alejandrina, en el s. I a. C. se separó el filósofo natural del astrónomo. En la Edad Media y a comienzos de los tiempos modernos se denominará "matemático" tanto a quien desarrolla o expone geometría como al astrónomo que calcula la posición de los astros a partir de "hipótesis de matemático". Por su parte, formular afirmaciones cosmológicas verdaderas era asunto de filósofos naturales (Boido, 1996).

En el s. III d. C. la cultura alejandrina se hallaba en decadencia y entre el s. V y el VI acaeció la descomposición del Imperio Romano. Durante la época feudal la actividad cultural en la región se redujo y se perdió contacto con los textos griegos y alejandrinos. Pero a partir del 600 los árabes comenzaron a extender sus dominios, que llegaron desde la India hasta España, pasando por Egipto. Mahoma ordenaba cultivar y enseñar la ciencia y la filosofía. Tomaron contacto con los antiguos textos, que habían sido llevados a Oriente. Tradujeron entre otros a Aristóteles, Ptolomeo, Euclides y Arquímedes (Boido, 1996).

### III. LA ENTRADA DE LOS ANTIGUOS TEXTOS A EUROPA Y LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

La recuperación de territorios europeos por parte de los cristianos (Toledo en 1085 y Sicilia en 1091) implicó el reingreso de algunos textos antiguos a Europa, con los aportes de los propios árabes, por ejemplo en álgebra. Éstos a su vez habían incorporado conocimientos de la India. Por esa época se crearon las primeras universidades: Bolonia y Oxford en el s. XI, París en el XII y Cambridge y Salamanca en el XIII, entre otras. Aristóteles fue traducido en el s. XII. Su cosmología, sumamente coherente y persuasiva, contradecía a la Biblia. Su mundo era increado, no había lugar para los milagros, etc. Se hizo necesario conciliar la doctrina cristiana con la cosmología aristotélica, tarea que llevó a cabo Tomás de Aquino en el s. XIII, elaborando una de las teologías más influyentes de la historia (que posteriormente se llamó escolástica). Esta cosmología comenzó a ser discutida en medios eclesiásticos y académicos. En el s. XIV en Europa se debatían nuevamente los antiguos problemas e inmediatamente aparecieron nuevos desarrollos. Uno de ellos fue la mecánica aplicada al problema de los proyectiles (la pólvora y los cañones se comenzaron a usar en Europa en el s. XIII) al que la concepción aristotélica no daba respuestas. Esas formulaciones actualmente se conocen como teorías del *ímpetu*.

Por otra parte, hasta el s. XV la obra de Platón permaneció casi ignorada en Europa. La caída de Constantinopla en 1453 provocó la migración de eruditos griegos a Italia que profundizó un humanismo anti aristotélico que venía creciendo en Europa. Se trataba de un neoplatonismo, producto de los últimos siglos del Imperio Romano (s. III y IV d. C.) que según el historiador Hugh Kearney (1970) tuvo un matiz místico y antirracional. Para ese entonces, muchos artistas, ingenieros, artesanos e intelectuales adhirieron a versiones platónicas.

Para completar el panorama, en el s. XVI Tartaglia publicó una edición impresa de la obra de Arquímedes el gran matemático e ingeniero de la antigüedad que recurrió a analogías mecánicas, como la palanca; aunque las máquinas que diseñó estaban destinadas a ornamento y curiosidad, no al uso práctico (Kearney, 1970).

La obra de Arquímedes mostraba a algunos filósofos naturales del s. XVI aspectos del pensamiento griego que no era aristotélico ni platónico (Kearney, 1970). El mecanicismo había entrado en la Europa renacentista. También se manifestó en el ámbito de la ingeniería, por ejemplo en Leonardo da Vinci.

La situación europea en el renacimiento desde el punto de vista cultural puede resumirse mediante las reelaboraciones conceptuales de Kearney (1970) en el organicismo, el neoplatonismo y el mecanicismo. Presentamos un resumen de las mismas.

- *Organicismo:*
  - El mundo sublunar es como una entidad biológica, se desarrolla hacia una meta que se manifiesta en el cambio.
  - Origen: Aristóteles.
  - Representantes: Ptolomeo, Galeno.
  - La investigación de la naturaleza se realiza mediante el método demostrativo aristotélico: la captación de formas universales a partir de la experiencia sensible, son expresadas por medio de axiomas y definiciones, y la posterior deducción de conclusiones empleando la lógica.
  - Dios: el Gran Lógico.
- *Neoplatonismo (misticismo, magicismo, hermetismo):*
  - Es una concepción más compleja. El cosmos es infinito. Le rendían culto al Sol, al que ubicaban en el centro del universo.
  - Origen: Pitágoras, Platón. Concepciones mágicas y alquímicas con raíces en el antiguo Egipto y en Babilonia. Hermes Trismegisto (Mítico personaje a quien se atribuyen escritos de Alejandría del s. III). Cábala judía que empleaba la numerología. Humanismo literario y artístico del s. XV.
  - Representantes: Paracelso, van Helmont, Kepler. Astrólogos, filósofos académicos, alquimistas, numerólogos pitagóricos, matematicistas.
  - Conocimiento: secretos del cosmos cifrados en lenguaje matemático, que puede ser develado por un mago, previa contemplación mística. Se revela a iniciados.
  - Dios: el Gran Artista, Mago o Geómetra.
- *Mecanicismo:*
  - El universo es una máquina creada por Dios que puede desmontarse y analizarse por partes, para revelar su sentido y sus leyes.
  - Origen: principalmente Arquímedes. También los ingenieros alejandrinos Herón y Pappo.
  - Representantes: pintores, escultores, arquitectos e ingenieros: Leonardo da Vinci, Tartaglia.
  - Conocimiento: técnico y artístico, para necesidades productivas y solución de problemas prácticos. Alejado de la filosofía y la teología. Aplicado a mejorar fortalezas y armas y a obras de arte. Sistemas deductivos –como la geometría de Euclides– surgidos de la observación y de experimentos sencillos y mentales. Se cuantifica, mide, relacionan cantidades para hallar regularidades. No recurre a la causalidad.
  - Dios: el Gran Ingeniero.

Si bien estas tres tradiciones estuvieron presentes desde la antigüedad, el organicismo había sido predominante durante la antigüedad y la edad media, y en el s. XV el neoplatonismo pasó a tener más protagonismo. Sin embargo, como indica Boido (1996), estas tres tradiciones coexistieron, especialmente durante el renacimiento, incluso en un mismo individuo, como en Kepler, Galileo y Newton.

Durante el renacimiento podemos encontrar diferencias características entre las tradiciones en el lenguaje, en la forma de experimentar y en el rol atribuido a la matemática:

- Los aristotélicos aplicaban al mundo de la naturaleza un lenguaje metafísico que recurría a términos como «sustancia» y «accidente», «materia» y «forma», «esencia» y «existencia». La matemática tenía un papel muy modesto. En el s. XVII, Harvey realizó ingeniosos experimentos dentro de la tradición aristotélica, reproduciendo y extendiendo los experimentos realizados por Galeno en el s. II d. C. También se realizaron observaciones, como las de Malpighi empleando microscopios para observar seres vivos y tejidos.

- Los neoplatónicos, dada su diversidad, utilizaban diferentes lenguajes. Entre los alquimistas la cuestión de la nomenclatura resultó bastante caótica, entre otras cuestiones por su tendencia a mantener en secreto sus logros. Relacionaron siete metales con el Sol, la Luna y los cinco planetas entonces conocidos. El plomo con Saturno, el más pesado con el más lento. Tales asociaciones, junto con los conceptos de ácido, álcali, sal y «espíritu» fueron otra fuente de nomenclatura. Términos como «espíritu de Venus» o «sal de Saturno» se usaban aún corrientemente en el s. XVIII. Otros, como «salomónico» subsistieron hasta el s. XX. Para otros neoplatónicos el lenguaje en que estaba cifrada la naturaleza era la matemática. En el campo de la experimentación, los alquimistas exponían materiales al fuego o los trataban en hornos, desarrollaron y perfeccionaron la destilación y experimentaron con gases. El término «gas» fue inventado por van Helmont a partir de la palabra latina *chaos*. Otros experimentaban buscando el elixir mágico. En el campo de los inventos, Tycho Brahe perfeccionó instrumentos para aumentar la precisión de la posición de los planetas, motivado por su interés en establecer horóscopos. Alquimistas inventaron además nuevos hornos.

- Desde la tradición mecanicista, los experimentos como los que realizaba Galileo estaban orientados a modelar un universo abstracto. Se buscaba crear entornos artificiales para medir los factores «esenciales». Se intentaba reducir las circunstancias ajenas a esos factores, por ejemplo la fricción. Apuntaban a lograr exactitud y realizaban las experiencias repetidas veces, para cerciorarse de la regularidad de los comportamientos. La matemática: ocupaba un lugar preponderante, era el instrumento apto para comprender la naturaleza, para cuantificar y establecer regularidades. El mundo natural estaba construido según un patrón matemático. Prestaron atención a la invención de relojes, pues les interesaba la medición exacta del tiempo. Galileo sacó provecho para su causa de otro invento, el telescopio, apuntándolo por primera vez hacia el cielo.

Copérnico era un canónigo católico polaco que había estudiado en las universidades de Bolonia y Padua, donde recibió influencias neoplatónicas (Kearney, 1970). Sus escritos remiten a la dimensión estética de los pitagóricos y de Platón. Puso al Sol en el centro del cosmos y si bien no admitía un universo infinito, su esfera de estrellas, era al menos 75 veces más grande que la que se suponía para el sistema ptolemaico. Este tamaño era necesario debido a que si la Tierra se movía alrededor del Sol y la esfera celeste fuera pequeña, debería medirse un cambio en la posición angular de las estrellas cercanas a los polos celestes, del mismo modo que cuando caminamos vemos que los árboles (que están cerca) se mueven hacia atrás pero la luna (que está lejos) no cambia su posición.

Recordemos que en un mismo individuo podían manifestarse elementos de diferentes tradiciones. En Copérnico se aprecian muchas características aristotélicas y otras neoplatónicas, como asignarle importancia central al Sol. Sin embargo, repudiaba la astrología. Respecto de la obra de Copérnico dicen Durham y Purrington (1989):

*Simplemente no hubo razón externa, en forma de nuevas observaciones, nuevos datos, que impusieran un nuevo enfoque teórico. Sin duda, es importante el que Copérnico supiese del antiguo intento de Aristarco, pero tal vez no menos importantes fueron las inclinaciones neopitagóricas, difundidas durante el Renacimiento, y lindantes en un "culto del Sol", con sus ecos de la cosmología de Filolao, sobre una Tierra que giraba en torno de un fuego central. De hecho, Copérnico se refirió a la tradición pitagórica de pasar la verdad de boca en boca como justificación de su propia renuencia a publicar. Sea como fuere, debieron de llamarle la atención las simplificaciones que se siguen del sencillo sistema simétrico de unos círculos concéntricos en torno del Sol... (p. 117).*

Estas simplificaciones son esencialmente tres. En primer lugar que considera fija a la esfera de estrellas, ya no es necesario que lo que está más lejos de una vuelta por día, porque lo que rota es la Tierra. En segundo lugar, es natural que los planetas interiores, Venus y Mercurio, se encuentren siempre cerca del Sol y con períodos acordes a sus radios. En el sistema ptolemaico estos planetas tenían el mismo período que el Sol, un año. La tercera simplificación es que la retrogradación de los planetas es un efecto provocado por el movimiento de traslación de la Tierra por lo cual ya no son necesarios los artilugios que modifiquen fuertemente la velocidad de los planetas para que retrograden. Sin embargo, es importante tener en cuenta que Copérnico mantuvo en su sistema a los artilugios ptolemaicos como los epiciclos.

Una nueva concepción del cosmos se estaba gestando. Sobre la base del trabajo de Copérnico, con los aportes involuntarios de los neoplatónicos de Tycho Brahe y de Kepler, Galileo propuso una teoría corpuscular de la materia, en el mismo sentido del atomismo de Leucipo, Demócrito, Epicuro y especialmente de Lucrecio (*de rerum natura*, traducido en 1473). El mecanicismo se extinguió en Italia en una generación, pero se esparció por Francia con Descartes, Pascal, Gassendi (Boido, 1996). El mecanicismo maquinista que había sido originado en la antigüedad por ingenieros, dio lugar a un mecanicismo *corpuscularista* (Boido, 1996). Hacia la segunda mitad s. XVII se crearon las sociedades científicas. Huygens –holandés– sería un puente entre la Royal Society inglesa y la Academia de las Ciencias Francesa. Boyle y Hooke trabajaban en Inglaterra en un ámbito liberal, tolerante, bastante caótico, lejos de la vigilancia *contrarreformista* del mundo católico. En ese siglo tuvieron lugar además importantes desarrollos matemáticos.

Este nuevo mecanicismo *corpuscularista* era una verdadera cosmología, un universo infinito de espacio mayormente vacío en el que las partículas se desplazaban e interaccionaban entre sí. Era un mecanismo de relojería que se ajustaba perfectamente a las tres leyes de Newton más la ley de gravitación universal enunciadas en 1685. Parecía un marco teórico verdadero para explicar todos los fenómenos del mundo, a pesar de que encontró algunas resistencias, por ejemplo la idea de acción a distancia, que resultaba problemática aún para Newton mismo y fue cuestionada y hasta rechazada en el continente.

#### IV. DE LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA AL SIGLO XX

El mecanicismo del s. XVII incluía de una u otra manera al Dios judeo-cristiano. En el siglo siguiente, se aceptó la acción a distancia, sin buscar una explicación más profunda, con lo cual no fueron necesarias explicaciones religiosas (Boido y Flichman, 2010). Pero las dificultades volvieron a aparecer en 1802 cuando Young propuso la teoría ondulatoria de la luz y planteó un éter luminoso, a lo que se sumó la propuesta teórica de la luz como ondas mecánicas transversales en el éter, con soporte experimental y matemático que Fresnel desarrolló entre 1815 y 1822. En 1820 Oersted hallaba la interacción entre la corriente eléctrica y los polos magnéticos, interacción que además no era central (es decir, no era ni de atracción ni de repulsión) sino transversal. Ampère encontró en 1825 que dos conductores por los que circulan corrientes eléctricas se atraen o repelen. En esa década el panorama se completó con la propuesta de Faraday de un *campo de fuerzas* (Lodeyro, 2006). Sobre esta cuestión dicen Boido y Flichman (2010):

... [Faraday] adoptó la tesis de que **la única entidad física real es la fuerza**. Para Faraday, el mundo es un vasto **campo de fuerzas**. Las partículas son puntos de convergencia de fuerzas de gran intensidad [...] Este presupuesto fue luego complementado con su noción de **líneas de fuerza** [...] Desde el punto de vista ontológico, para Faraday, las fuerzas y las líneas de fuerza son **reales**, y constituyen el fundamento último de la realidad (p. 60, resaltado en el original).

Esta noción resultó muy prolífica, pues le permitió a Faraday descubrir la inducción electromagnética, la ley electroquímica de Faraday, la dielectricidad y el diamagnetismo.

El problema fue que según el electromagnetismo que Maxwell propuso en 1873, el campo electromagnético se desplaza por el espacio con una velocidad finita pero enorme. Esa velocidad no podía ser una propiedad como la masa, la fuerza o la carga eléctrica. ¿Cuál era la sustancia que tenía la cualidad de que los campos electromagnéticos viajaran por él a la velocidad de la luz? Se generó una crisis –en el sentido que le asigna Kuhn (1971) al término– que desembocó en la teoría de la relatividad especial. Einstein (1981) propuso que existen tanto las partículas como los campos, es decir que ambos son entidades del universo: “el campo se convirtió en un elemento irreducible de la descripción física, irreducible en el mismo sentido en que lo era el concepto de materia en la teoría de Newton” (p. 326).

Pero el mecanicismo sufriría otra crisis. Desde comienzos del s. XIX, una corriente llamada *vitalismo* planteaba que el mecanicismo no podía explicar los fenómenos biológicos por medio de las leyes físicas y químicas, por lo que discriminaba lo vivo de lo inerte. Si bien la teoría de la evolución enunciada en 1859 no es finalista y por ende es compatible con el mecanicismo, el vitalismo tuvo adeptos hasta 1930, cuando declinó abruptamente (Boido y Flichman, 2010).

En resumen, el mecanicismo evolucionó a lo largo de los siglos, obtuvo logros, superó anomalías, sufrió escisiones y diversas dificultades. La ontología evolucionó, principalmente en biología y en física, con la mecánica relativista y la cuántica. Cerraremos este apartado presentando la definición que dieron Boido y Flichman (2010) de la tradición mecanicista:

*Todos los fenómenos se explican: o bien,*

*I) a partir de alguna teoría mecánica o de un conjunto de teorías que conforman la base ampliada de reducción. O bien,*

*II) a partir del orden causal, que incluye situaciones aleatorias y/o caóticas de la naturaleza espacio-temporal, con leyes deterministas o probabilistas, reversibles o irreversibles, sin que haya, en el ámbito intrínseco de los fenómenos descritos, meta, propósito o finalidad alguna. O bien,*

*III) a partir de ambas situaciones. (p. 82)*

## V. CONCLUSIONES

En la introducción se argumentó sobre la importancia de las concepciones del mundo. Es un modo de identificar implícitos que intervienen en los modos de razonar, de argumentar, de enunciar, analizar y resolver problemas, etc. Son evidentes las diferencias al concebir un cosmos orgánico, mágico o mecánico. En la actualidad podemos identificar en nuestra cultura aspectos de cada una de las tres tradiciones presentadas. Cuestiones organicistas en el modo de hablar, por ejemplo sobre una organización: *la cabeza, el brazo armado, las patas*. Explicaciones teleológicas en biología: *la función del hígado es...* que son ampliamente utilizadas en la concepción dominante de la enseñanza de las ciencias naturales-biológicas en la educación primaria y secundaria. También hay en nuestra cultura innumerables aspectos neoplatónicos: horóscopos en los diarios, sujetos que ven causalidades en eventos que un mecanicista atribuiría a la casualidad, creencias místicas o mágicas, etc. El mecanicismo ha logrado imponerse como la cosmovisión oficial de la ciencia y, en general, de las instituciones estatales. Los gobiernos subsidian investigaciones científicas en este marco. Sin embargo muchos presidentes tienen un adivino entre sus asesores, a quien consultan antes de tomar decisiones de gobierno...

Al evidenciar que las concepciones del mundo determinan el lugar que se le otorga al lenguaje, a la experimentación y a la matemática, se pone de manifiesto cómo guían el modo de conocer, la metodología para investigar sobre el mundo. Según una perspectiva epistemológica actual, la elaboración de una cosmovisión tiene un componente empírico, los datos que tenemos del cielo, pero su interpretación implica el uso de un marco que puede ser teórico o no, que puede ser implícito o no. No se puede interpretar si no es desde un marco (Kuhn, 1971). Esta interpretación permite, mediante un acto creativo, proponer o elaborar nuevas concepciones de mundo. Podemos verlo a lo largo de la historia como un proceso recursivo, donde la interpretación de los datos lleva a reformular la concepción y la concepción permite reinterpretar los datos.

Conocer la historia de estas concepciones nos permite ponerle un marco al desarrollo de los conocimientos científicos que enseñamos. Es habitual que se enseñen clasificaciones, conceptos, operar para obtener resultados, pero no se suelen incluir las ideas sobre el mundo que enmarcaron a cada conocimiento. ¿Saber mecánica newtoniana implica poder resolver problemas de cinemática o de dinámica o conocer cómo era el universo newtoniano? Incorporar aspectos de la historia de las ciencias en los cursos tiene como consecuencias una mayor motivación de los estudiantes por aprender ciencias naturales (Fernández González, 2000). Pero además, la comprensión de las concepciones del mundo de un momento histórico son un componente importante para que los estudiantes comprendan la teoría científica que se les está enseñando, pues no es posible comprender una teoría si no se puede concebir al mundo del modo que esa teoría supone.

En este trabajo evidenciamos lo poco que se suele saber sobre las observaciones en las que se basan las concepciones cosmológicas. Esta apreciación puede extenderse a la escasa presencia de fenómenos en el aula. Al enseñar los conceptos desvinculados de los fenómenos que explican, la imagen de ciencia que se induce en los estudiantes queda renga, como un conjunto de leyes y teorías raras, inentendibles (Lederman, 2007; Montino, Petrucci y Ure, 2006). Los fenómenos, las observaciones, su interpretación, quedan afuera de las aulas y de la ciencia. Es necesario aclarar que nos referimos a la observación, en un marco exploratorio y no a la experimentación en un marco confirmatorio (Montino y otros, 2011).

Por otra parte, resulta tentador afirmar que la enseñanza de las ciencias fracasa con nuestros estudiantes al no lograr erradicar las ideas esotéricas, místicas, cabalistas, etc. Al realizar esta revisión y tomar conciencia de la antigüedad y el peso que el neoplatonismo tiene en nuestra cultura, se evidencia que debemos ser más mesurados al sopesar los resultados de nuestra tarea como docentes de ciencias. La misión del docente de ciencias es enseñar ciencias, incluyendo la visión científica del mundo. Sin embargo, el conocimiento enseñado no debe reemplazar a las concepciones previas de los estudiantes como se proponía desde el enfoque clásico de cambio conceptual, como lo expresa Vosniadou (2013):

*...no se afirma que las concepciones previas de los estudiantes deben ser entendidas como concepciones erróneas, a ser reemplazadas por la perspectiva científica correcta. Más bien afirmamos que el aprendizaje de las ciencias requiere la creación de nuevas ontologías y de nuevas representaciones y la capacidad de moverse de manera flexible entre ellas. En otras palabras, el aprendizaje de las ciencias requiere la capacidad de entender que el mismo fenómeno se puede explicar desde diferentes perspectivas y algunas de estas perspectivas tienen mayor poder explicativo que otros (p. 26, traducción nuestra).*

Finalmente, consideramos muy relevante que cada docente de ciencias naturales conozca y reflexione sobre los entes que pueblan el mundo visto desde su disciplina. En este sentido, este artículo plantea un recorrido inicial, pero queda un largo trecho por recorrer para identificar las entidades que concibe cada disciplina. Esperamos que este artículo sea una contribución en ese sentido.

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera que este agradecimiento sea una suerte de homenaje y de recuerdo activo a Guillermo Boido y a Eduardo Flichman, quienes –involuntariamente– han sido esenciales en la elaboración de este trabajo. También agradezco la generosa colaboración de Néstor Camino, con sus críticas constructivas y aportes, que contribuyeron a darle forma a la versión final del trabajo. A los tres, mi admiración y reconocimiento.

## REFERENCIAS

- Boido, G. (1996). *Noticias del planeta tierra*. Buenos Aires: AZ Editora.
- Boido, G. y Flichman, E. (2010). *Historia de un ave Fénix. El mecanicismo, desde sus orígenes hasta la actualidad*. Buenos Aires: Prometeo libros.
- Durham y Purrington, (1989). La trama del Universo. Historia de la cosmología física. México: Fondo De Cultura Económica, <https://unqfilosofia.files.wordpress.com/2011/08/1-1-1-bibliografc3ada-revolucic3b3n-copernicana.pdf>. Sitio consultado en mayo de 2017.
- Einstein, A. (1981) (Original en inglés 1955). La relatividad y el problema del espacio. En A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, pp. 360–378. Barcelona: Antoni Bosch.
- Fernández González, M. (2000). Fundamentos históricos. En F. J. Perales Palacios y P. Cañal de León (Eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales*, pp. 65–83. Alcoy: Marfil.
- Kearney, H. (1970). *Orígenes de la ciencia moderna, 1500–1700*. Madrid: Guadarrama.
- Knopoff, P., Badagnani, D y otros. (2015). Astronomía para la emancipación: dando significado a los ciclos solares observados en tiempo real, desde la subjetividad de los estudiantes. *Revista de Enseñanza de Física*, 27, 359–364.
- Kuhn, T. S. (1971) (original en inglés 1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Labarca, M. y Lombardi, O. (2008). The end of the dream of unity. *Current science*, 94(4), 438–439.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present, and Future. En Abell, S. K. y Lederman, N. G. *Handbook of Research on Science Education*. New Jersey: LEA Publishers.
- Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255–277.
- Montino, M., Petrucci, D y Ure, J. (2006) ¿Magia o Física? Los estudiantes universitarios y los trabajos prácticos de laboratorio. *Memorias del 8<sup>vo</sup> Simposio de Investigadores de Educación en Física*. Editado en CD. Gualeguaychú. 367–375.
- Montino, M., Petrucci, D., Ure, J., Aleman A. y Pérez S. M. (2011). Una propuesta de trabajos prácticos de laboratorio que favorece el aprendizaje de conceptos. *Ciência & Educação*, 17(4). [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132011000400004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-73132011000400004&script=sci_arttext)
- Plinio el viejo (1847). *Pliny's natural history, in thirty-seven books*. Leicester Square: Wernerian Club. Disponible en: [https://books.google.com.ar/books?id=XrFgAAAIAAJ&printsec=frontcover&dq=pliny+the+elder+natural+history&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ar/books?id=XrFgAAAIAAJ&printsec=frontcover&dq=pliny+the+elder+natural+history&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Sitio consultado en mayo de 2017.
- Sellés García, M. (2015). *Introducción a la historia de la cosmología*. Madrid: UNED.
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual Change in learning and instruction: the framework theory approach. En S. Vosniadou (Ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge.