

Universitat de València

Departament de Didàctica de les
Ciències Experimentals i Socials



ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASTRONOMÍA EN EL BACHILLERATO

TESIS DOCTORAL

Presentada por: **D. Rafael Palomar Fons**

Dirigida por: **Dr. D. Jordi Solbes i Matarredona**

Valencia 2013

Jordi Solbes i Matarredona, Doctor en Ciencias Físicas y profesor titular de la Universitat de València.

CERTIFICA: que esta memoria titulada “Enseñanza y aprendizaje de la Astronomía en el bachillerato” ha sido realizada por Rafael Palomar Fons, bajo mi dirección y constituye la tesis para optar al grado de Doctor por la Universitat de València.

Y para que conste, se presenta esta memoria de tesis doctoral y se firma este certificado en Valencia, Octubre de 2013.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jordi Solbes', written vertically.

Quisiera empezar dando las gracias a todos los que me han acompañado hasta el momento, familia, amigos y compañeros. Dedicar además, especial mención a los que han hecho posible este trabajo:

A mi madre, padre, hermano y Amparo, por orden de aparición en mi vida, que contribuyeron a que terminara los estudios; y a mi joven hermana que tanto le gusta estudiar.

A Jordi, mi director y la persona de la que más he aprendido en estos últimos años.

A Paco, que realizó importantes aportaciones a este trabajo.

Y por último a Maite, que con su paciencia y amor hace que todo fluya.

Índice

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2. HIPÓTESIS Y FUNDAMENTACIÓN.....	11
2.1 Hipótesis	11
2.2 Fundamentación histórica.....	11
2.2.1 Las primeras cosmologías.....	14
2.2.2 La astronomía griega	20
2.2.3 Astronomía árabe y de otras civilizaciones	23
2.2.4 La revolución científica.....	26
2.2.5 Imagen actual del universo	36
2.2.6 Implicaciones didácticas de la historia	46
2.3 Fundamentación didáctica	47
2.3.1 Dificultades de aprendizaje	47
2.3.2 Dificultades de aprendizaje de la astronomía	52
2.3.3 Propuestas de enseñanza que facilitan el aprendizaje de los estudiantes	59
2.3.4 Propuestas de enseñanza que facilitan el aprendizaje de la astronomía	62
3. DISEÑOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS..	70
3.1 Diseño de la red de análisis de textos	71
3.1.1 Red de análisis de textos	71
3.1.2 Criterios de valoración de la red de análisis de textos.	73
3.2 Diseño del cuestionario de profesores	82
3.2.1 Cuestionario de profesores	82
3.2.2 Criterios de valoración de la red de análisis de textos.	83
3.3 Diseño del cuestionario de alumnos.....	86
3.3.1 Prueba de fiabilidad. Alpha de Cronbach.	87

3.3.2	Cuestionario de alumnos.....	88
3.3.3	Criterios de valoración de los ítems del cuestionario de alumnos.....	89
3.3.4	Cuestionario de alumnos vs. objetivos y dificultades	92
4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS.....	96
4.1	Análisis la red de análisis de textos	96
4.2	Análisis de resultados obtenidos a partir del cuestionario de profesores.....	107
4.3	Análisis de los resultados obtenidos con el cuestionario de alumnos.....	122
4.3.1	Porcentaje de respuestas correctas en el grupo control	122
4.3.2	Resultados obtenidos mediante entrevistas	133
5.	DISEÑOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS..	139
5.1	Diseño de una propuesta didáctica para la enseñanza de la astronomía	139
1.	ANTECEDENTES: PRIMERAS IDEAS SOBRE EL UNIVERSO.....	144
2.	LA ASTRONOMÍA Y SUS APLICACIONES	156
3.	DEL SISTEMA GEOCÉNTRICO AL MODELO HELIOCÉNTRICO	166
4.	LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL	179
5.	LA IMAGEN ACTUAL DEL UNIVERSO	186
6.	SATÉLITES ARTIFICIALES.....	202
5.2	Evaluación de la propuesta didáctica	207
6	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS	212
6.1	Comparación de las medias globales entre pre-test y post-test. Prueba de Wilcoxon.	212
6.2	Distribución de la diferencia de respuestas correctas entre pre-test y post-test.....	214

6.3	Comparación de los resultados obtenidos en cada ítem del cuestionario en el pre-test y en el post-test. Contrastes de homogeneidad marginal. McNemar y Stuart-Maxwell.....	215
6.4	Porcentaje de respuestas correctas entre los grupos pre-test y post-test.	224
6.4.1	Descripción detallada por categorías de cada ítem	225
6.4.2	Porcentajes en la categoría <i>no contesta</i>	244
6.5	Influencia de la modalidad del estudiante en el post-test.	245
6.5.1	Comparación de las medias de los resultados globales en pre-test de los subgrupos de alumnos de humanidades y alumnos de ciencias. U de Mann-Whitney... ..	246
6.5.2	Comparación de las medias globales entre pre-test y post-test de los alumnos de la modalidad científico-tecnológica. T de Student	247
6.5.3	Comparación de las medias globales entre pre-test y post-test de los alumnos de humanidades-ciencias sociales. Wilcoxon.....	248
6.5.4	Comparación de las medias de los resultados globales de los subgrupos de alumnos de humanidades y alumnos de ciencias. T de Student.	248
6.5.5	Porcentajes de respuestas correctas en los grupos control, pre-test y post-test para los subgrupos de ciencias y humanidades.	250
6.6	Comparación de los grupos control y post-test.	253
6.1.1	Comparación de las medias de los resultados globales de los grupos control y post-test. U de Mann-Whitney.....	254
6.1.2	Comparación de los resultados de cada ítem de los grupos control y post-test. Chi-Cuadrado.....	254
6.7	Resultados obtenidos mediante entrevistas	256
7	RECAPITULACIÓN, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	265
8	BIBLIOGRAFÍA.....	273
ANEXOS.....		287
I.	Complementos a algunas actividades de la propuesta	287
II.	Tablas y figuras correspondientes al análisis de los resultados obtenidos al poner de prueba la segunda hipótesis.....	297
III.	Referencias de los libros utilizados en el análisis de textos.	311
IV.	Referencias de las imágenes utilizadas.....	313

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ser humano y la astronomía han ido de la mano desde los principios de nuestra especie, y aún hoy esta ofrece numerosos retos a la humanidad. El estudio de esta evolución compartida ofrece al estudiante la oportunidad de acercarse a la forma de proceder en ciencia.

Dentro del estudio de la astronomía se encuentran algunas de las grandes unificaciones que han acontecido en la ciencia. La unificación de fenómenos celestes y terrestres que tuvo lugar con la Teoría de la Gravitación Universal, y la invariancia de las leyes físicas respecto a los sistemas de referencia son dos ejemplos de estas unificaciones. Además la astronomía ha ejercido de laboratorio de pruebas a otras ramas de la ciencia, como la física nuclear (descubrimiento de la fuente de energía del Sol por parte de Hans Bethe) y de partículas (descubrimiento del positrón por parte de Carl Anderson al estudiar las trazas dejadas en fotografías de cámara de niebla procedentes de la radiación cósmica).

Las relaciones ciencia-tecnología-sociedad se ponen de manifiesto en la evolución de la astronomía. El mismo nacimiento de la astronomía tiene como origen la necesidad de las sociedades antiguas de atender algunas de sus necesidades básicas. Cuando la astrología entró en escena, compartió con la astronomía la influencia en las cuestiones de la humanidad, llegando a intervenir en el futuro de reyes y soberanos o marcar el inicio de guerras e invasiones. Las grandes expediciones del siglo XVI se sirvieron de los conocimientos astronómicos y contribuyeron al desarrollo de instrumentos de medida para orientarse. Pero fue en la segunda mitad del siglo XX, con el comienzo de la carrera espacial, cuando la astronomía comenzó a influir de forma más importante en la sociedad. Actualmente, la nueva sociedad del conocimiento tiene uno de sus pilares en las

tecnologías de la información y la comunicación, cada vez más dependientes del lanzamiento de nuevos satélites.

La divulgación de la astronomía cuenta con un amplio número de seguidores a ambos lados del papel. Los estantes de las librerías dedican un espacio generoso a esta, y es sin duda la rama de la ciencia con más aficionados no profesionales y en su mayoría autodidactas. Esta situación es digna de mención dado el poco interés que despierta la ciencia en los estudiantes, convirtiéndose este desinterés en un abandono de los bachilleratos científicos, en particular, de la modalidad de matemáticas y física (Solbes, Montserrat, & Furió, 2007), que produce una reducción, especialmente de chicas, en las titulaciones de Ingeniería, Físicas, etc. Sería pues un error no aprovechar esta rama de la ciencia, que cautiva por sí sola, para despertar el interés por la ciencia en los estudiantes.

Vale la pena destacar también el carácter interdisciplinar de la enseñanza de la astronomía en un instituto. La física encargada de dilucidar los procesos estelares y los movimientos en el espacio, la biología en el campo de la astrobiología, la geología contribuyendo a entender la evolución planetaria, las matemáticas describiendo la trigonometría existente en un reloj de sol, y la plástica y tecnología ayudando a diseñar los instrumentos de medida necesarios para determinadas observaciones.

La didáctica de la astronomía también ha sido bastante tratada, aunque la mayoría de veces ha estado centrada en los movimientos del sistema Tierra, Sol y Luna. El tratamiento de conceptos más elaborados como los de universo observable, principio cosmológico, etc., quedan un poco olvidados en la investigación didáctica.

En España la astronomía se enseña en la educación primaria, en la asignatura de *Conocimiento del medio natural, social y cultural*, en sus 3 ciclos. En primer ciclo (6-7 años) se tratan: orientación de elementos del medio físico en relación con el sol; percepción y descripción de algunos elementos y fenómenos naturales: la luna, las estrellas y el sol, el día y la noche. En 2º ciclo (8-9 años): los puntos cardinales; movimientos de la tierra y fases de la luna; las estaciones del año. Y, en tercer ciclo (10-11 años): el universo; el sistema solar (Real Decreto 1513/2006, 2006). En secundaria aparece en las *Ciencias de la Naturaleza* de 1º (12 años, ver Tabla 1): el universo, estrellas y galaxias, Vía Láctea, sistema solar; estaciones, día y noche, eclipses; utilización de técnicas de orientación; observación del cielo diurno y nocturno; el paso del geocentrismo al heliocentrismo. Después de esta presentación temprana desaparece la astronomía del currículo, salvo en los temas de gravitación que se cursan en materias optativas como la *Física y Química* de 4º de Secundaria (15 años, ver Tabla 2) y la *Física* de 2º de bachillerato (17 años, ver Tabla 4), donde se introduce el modelo heliocéntrico desarrollado por Copérnico y las aportaciones de Kepler, Galileo y Newton.

Para despertar el interés por la ciencia en los estudiantes se ha introducido recientemente en nuestro país una nueva asignatura, *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*, obligatoria para todo el alumnado de 1º de bachillerato (16 años), de carácter divulgativo y con dos horas semanales. En ella aparece un tema, denominado *Nuestro lugar en el universo* en el que se tratan aspectos astrofísicos y cosmológicos como: el origen del universo; la génesis de los elementos; polvo de estrellas; la exploración del sistema solar. En los nuevos libros de esta asignatura unas pocas editoriales han encargado a científicos profesionales (algunos de ellos astrónomos) que redactasen divulgativamente los temas de su especialidad.

La importancia de la astronomía queda reflejada en los documentos oficiales que dan cuenta de los currículos (Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4):

Curso: 1º de ESO

Asignatura: Ciencias de la naturaleza

Bloque 2. La Tierra en el universo

(Orden ECI/2220/2007, 2007; Decret del Consell 112/2007, 2007)

- El universo y el sistema solar
- El universo, estrellas y galaxias, Vía Láctea, sistema solar.
- La Tierra como planeta. Los fenómenos naturales relacionados con el movimiento de los astros: estaciones, día y noche, eclipses...
- Utilización de técnicas de orientación. Observación del cielo diurno y nocturno.
- Evolución histórica de las concepciones sobre el lugar de la Tierra en el universo: el paso del geocentrismo al heliocentrismo como primera y gran revolución científica.

Tabla 1. Astronomía en 1º ESO

Curso: 4º de ESO

Asignatura: Física y Química

Bloque 2. Las fuerzas y los movimientos

(Orden ECI/2220/2007, 2007; Decret del Consell 112/2007, 2007)

- Superación de la barrera Cielo-Tierra: Astronomía y Gravitación Universal
- La Astronomía: implicaciones prácticas y su papel en las ideas sobre el universo.
- El sistema geocéntrico. Su cuestionamiento y el surgimiento del modelo heliocéntrico.
- Copérnico y la primera gran revolución científica. Valoración e implicaciones del enfrentamiento entre dogmatismo y libertad de investigación. Importancia del telescopio de Galileo y sus aplicaciones.
- Ruptura de la barrera Cielos -Tierra: la gravitación universal.
- La concepción actual del universo. Valoración de avances científicos y tecnológicos. Aplicaciones de los satélites.

Tabla 2. Astronomía en 4º ESO

Curso: 1º de bachillerato
Asignatura: Ciencias para el Mundo Contemporáneo
Bloque 2. Nuestro lugar en el universo.
(Real Decreto 1467/2007, 2007; Decret del Consell 102/2008, 2008)
• El origen del universo. La génesis de los elementos: polvo de estrellas. Exploración del sistema solar

Tabla 3. Astronomía en 1º bachillerato

Curso: 2º de bachillerato
Asignatura: Física
Bloque 2. Interacción gravitatoria
(Real Decreto 1467/2007, 2007; Decret del Consell 102/2008, 2008)
• Una revolución científica que modificó la visión del mundo. De las leyes de Kepler a la Ley de gravitación universal.

Tabla 4. Astronomía en 2º bachillerato

Estos currículos tratan problemas de interés para los seres humanos: ¿Cómo empezó el universo? ¿Cómo terminará todo? ¿De dónde provienen los elementos químicos? ¿De dónde proviene el sistema solar? ¿Cómo se originó la vida? Algunas de estas preguntas han acompañado al ser humano desde sus principios y otras han surgido a partir de los conocimientos acumulados. Por primera vez en la historia, la humanidad se encuentra en la posición de dar respuesta a estas y otras grandes cuestiones.

Todos estos son los motivos que nos han llevado a plantearnos las siguientes preguntas:

- ✓ ¿Qué dificultades tienen los alumnos de bachillerato al estudiar el tema de astronomía?
- ✓ ¿Cuáles son las deficiencias de la actual forma de enseñar astronomía?

En consecuencia, en segundo lugar nos planteamos:

- ✓ ¿Es posible diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de la astronomía en bachillerato que supere las dificultades de aprendizaje del alumnado?

2. HIPÓTESIS Y FUNDAMENTACIÓN

2.1 Hipótesis

Nuestra primera hipótesis es que los alumnos no comprenden los enunciados básicos de la astronomía porque la enseñanza de la misma se realiza de una forma muy teórica, sin poner de manifiesto como la astronomía ha llegado a demostrar estas proposiciones, y sin tener en cuenta que implican dimensiones y tiempos que superan con mucho la escala humana y sin mostrar sus relaciones con la tecnología y la sociedad.

Nuestra segunda hipótesis es que es posible superar estas dificultades del alumnado mediante una propuesta para el tema de astronomía de bachillerato que aproveche la historia de la ciencia para favorecer una mayor comprensión de cómo se resolvieron los problemas planteados.

Con el fin de fundamentar las hipótesis se procederá a mostrar una serie de argumentos históricos y didácticos.

2.2 Fundamentación histórica

La historia de la astronomía es uno de los procesos más complejos de toda la historia de la ciencia. Llegar hasta el punto de conocimiento en el que nos encontramos nos ha costado miles de años, habiendo tenido que pasar por toda una serie de hipótesis, observaciones, experimentos, etc.

Muchas han sido las ideas que las mejores mentes de la humanidad han ido hilvanando desde el comienzo del estudio de la astronomía. Desde el universo del sentido común centrado en la Tierra a las primeras ideas descentralizadoras de Copérnico, pasando por la idea de Bruno según la cual el universo está formado por miles de soles en torno a los que orbitan miles de mundos, o por la de Herschel de la Vía Láctea como galaxia, hasta el actual principio cosmológico que nos sugiere

que el universo está formado por miles de millones de galaxias, ninguna de las cuales ocupa un lugar central. E incluso, hasta las teorías de multiversos enunciadas por los más atrevidos cosmólogos (Vilenkin, 2006) que sugieren que el nuestro es uno más de infinitos universos.

Por todo ello, nuestra fundamentación histórica se encuentra dividida en 5 partes:

- **Primeras cosmologías:** Se comienza presentando las ideas que las primeras civilizaciones tuvieron sobre el cosmos. Cada apartado comienza con una breve presentación de los éxitos astronómicos de cada civilización para acabar con una breve exposición de cómo entendían el universo estas civilizaciones de la antigüedad.
- **La astronomía griega:** La ciencia dio sus primeros pasos con los comienzos de la civilización griega. En este apartado aparecen los primeros modelos del universo basados en observaciones como el de Tales y Anaximandro, que precedieron a los más elaborados de Aristóteles y Ptolomeo, este último vigente durante casi 20 siglos.
- **Astronomía árabe y de otras civilizaciones:** En la Edad Media, otras grandes culturas desarrollaron la astronomía fuera del continente europeo, los árabes que si conocieron los descubrimientos griegos, y los mayas y chinos que la desarrollaron de forma más aislada. En este apartado se describen algunos de los hechos astronómicos más destacados de estas tres civilizaciones.
- **La revolución científica:** El despertar de la ciencia en Grecia quedó atascado para occidente en el modelo de Ptolomeo, y hubo que esperar al siglo XVI para que comenzara a cuestionarse. En este apartado se describe el

proceso que llevó a desplazar la Tierra del centro del universo mediante las ideas de Copérnico, Kepler y Galileo. Como colofón al trabajo realizado en el siglo anterior, Newton propone su Ley de la Gravitación Universal, que unificaría las mecánicas celeste y terrestre explicando la dinámica de los cuerpos celestes. Los sucesivos pasos que llevaron a enunciar esta ley y la dificultad de su verificación experimental se tratan en este apartado. En este apartado aparecen los éxitos de la Ley de la Gravitación Universal, que proporcionó explicación a fenómenos aparentemente tan dispares como las mareas o las trayectorias de los cometas.

- Imagen actual del universo: Con el desarrollo de la astronomía, la astrofísica y la Teoría de la Relatividad General, la ciencia ha podido enfrentarse a algunas de las preguntas más difíciles a las que se ha enfrentado el ser humano. ¿Tuvo un origen el universo o por el contrario siempre ha existido? ¿Tendrá un final? En este apartado se muestra como estas preguntas han sido abordadas de forma rigurosa durante el todo el siglo XX. Este último apartado de la fundamentación histórica también contiene un repaso de la física estelar. Comprender los ciclos de vida estelar nos ayuda a entender como este universo ha sido capaz de albergar vida, respondiendo a las preguntas sobre la procedencia de los elementos químicos y la formación de sistemas planetarios.

Para realizar esta introducción histórica, nos hemos basado en libros de historia de la ciencia (Taton & al, 1972; Taton & al, 1973; Bernal, 1976; Bowler & Morus, 2005; Mason, 1985; Kragh, 2007; Sánchez Ron J. , 2006; Serres, 1991; Belmonte, 1999) (Rodríguez, 1998; Solis & Selles, 2013), textos originales (Einstein, Newton, Mach, & al, 1973; Einstein A. , 1986; Navarro V. , 1991), libros y artículos

de divulgación (Chomaz, 2003; Ferris, 2007; Hawking, 1988; Reeves, De Rosnay, & Coppens y Simonnet, 2001; Sagan, 2004; Weinberg, 1977; Perucho & Ferrando, 2009), libros de texto y artículos con aspectos históricos (Holton & Bruhs, 1976; Martínez, Miralles, & Marco, 2001; Martínez Usó, 2007; Valenzuela, 2010; Farrington N, 1986) etc.

2.2.1 Las primeras cosmologías

A pesar de que muchas de las antiguas civilizaciones han dirigido su mirada a los cielos, su interés ha resultado ser en la mayoría de ocasiones más pragmático que cosmogónico, intentando siempre predecir el mejor momento para la siembra y recogida de sus cosechas, o para la caza. Esta aproximación a los cielos también ha quedado reflejada en diferentes modelos cosmológicos, si bien no ha sido hasta los griegos cuando estos modelos comenzaron a basarse en las observaciones y dejaron de hacerlo en mitos y supersticiones.

Es en el llamado Creciente Fértil, una zona con forma de luna creciente que se extiende desde el golfo pérsico y pasando por el mar muerto hasta Egipto, donde comenzó la primera astronomía observacional. Se inventó el primer sistema sexagesimal, se identificaron los planetas y muchas de las constelaciones y también aquí comienza la hija malquerida de la astronomía, la astrología, alrededor del siglo V a. n. e. (Belmonte, 1999)

El cosmos para los babilonios

En el período antiguo babilónico (primera mitad del segundo milenio a. n. e.) se encuentran algunas de las observaciones astronómicas más antiguas de las que se tiene constancia, como eclipses de Sol, ortos y ocasos de Venus, representaciones de algunas de nuestras constelaciones actuales como El Águila, Acuario, Leo y Tauro, y el calendario lunisolar (Belmonte, 1999).

En los siguientes períodos babilónicos se sucedieron las observaciones astronómicas de todo tipo: Un catálogo de estrellas junto con salidas y puestas de estas, conjunciones planetarias, eclipses de Luna, las primeras representaciones clásicas conocidas de nuestras constelaciones, el calendario solar y el uso del gnomon para conocer la hora (Belmonte, 1999) .

Sobre el siglo VII a. n. e., el pueblo babilonio daba las posiciones de la Luna y los planetas respecto a 18 constelaciones, sentando las bases de las constelaciones zodiacales. Estas constelaciones se redujeron a 15, asignadas a cada uno de los 12 meses del año, habiendo de esperar al siglo V a. n. e. para obtener un zodíaco de 12 constelaciones que sería el padre del zodíaco grecorromano. El zodíaco surge así como un calendario estelar con el propósito de emitir juicios, controlar el ciclo estacional y adaptarlo al calendario lunisolar oficial (Belmonte, 1999).

A pesar de todo el conjunto de observaciones astronómicas de los babilonios, estas no se plasmaron en un modelo cosmológico científico. Su modelo cosmológico estaba basado en la religión y los mitos. Para los babilonios, el universo estaba formado por una Tierra plana en forma de disco que flotaba en las aguas inferiores, cubierta por una semiesfera de la que colgaban las estrellas. Los cielos se encontraban rodeados de las aguas superiores y los astros salían por los bordes de este mundo para cruzar el cielo y ocultarse por la parte opuesta (Fernández & Montesinos, 2007).

El cosmos para los egipcios

La astronomía en el antiguo Egipto fue una disciplina practicada casi en exclusiva por los sacerdotes egipcios, dado que las observaciones les proporcionaban el control sobre los ciclos de tiempo y por tanto el poder. Estas

ganas de conservar su poder son la causa de la casi total falta de información astronómica en los jeroglíficos (Belmonte, 1999).

Los egipcios identificaron a sus divinidades con distintos astros, y estos emparejamientos parecen estar llenos de contradicciones e identificaciones múltiples, que sumado a la falta de registro escrito sobre temas astronómicos, complican el estudio de la astronomía egipcia. Puede citarse como ejemplo a la diosa Isis, que en ocasiones es una divinidad de carácter solar o lunar, otras un asterismo o constelación (Hipopótamo), otras un planeta (el Lucero Vespertino) e incluso la estrella Sepedet (Sirio) (Belmonte, 1999). Uno de los éxitos de la astronomía egipcia fue la creación de un calendario civil que sentaría las bases para nuestro calendario actual. El pueblo Egipcio, como otros pueblos de la antigüedad, basaba su economía en la agricultura, y predecir la llegada de las estaciones o las fechas más óptimas para la recogida y siembra tenía una importante repercusión. Los egipcios usaban el desbordamiento del Nilo para preparar las tierras de alrededores del cauce para la siembra, así que era de vital importancia conocer este momento con cierta precisión. Quiso la casualidad que este momento coincidiera con el solsticio de verano y con el orto helíaco (momento en el que una estrella aparece por el horizonte inmediatamente antes de la salida del Sol) de la estrella más brillante del cielo, Sirio, que los griegos conocieron con el nombre de Sothis y los egipcios con Sepedet. Así, los sacerdotes egipcios tomaron el principio del año justo en el momento en el que Sirio aparecía por el horizonte este poco antes de la salida del Sol. Comprobaron también que esto tenía lugar cada 365 días y 6 horas, pero establecieron la duración del año en 365 días. Esto provocó que el orto helíaco de Sirio y el solsticio de verano no volviese a coincidir hasta pasados 1460 años, periodo al que llamaron *Gran Año del Ciclo de Sothis* (Martínez Usó, 2007; Belmonte, 1999).

La influencia de los cielos en el antiguo Egipto, se pone de manifiesto en la orientación de algunos de sus templos y monumentos. El templo Meha de Abu Simbel, construido alrededor del siglo XIII a. n. e., posiblemente esté orientado de forma que el día del jubileo del faraón (fiesta en honor a la subida al poder del faraón) y en su simétrico respecto al solsticio de invierno, la luz del Sol penetre en el templo iluminando las figuras de Ra Harajti, Amón-Ra y Ramsés II, dejando sin iluminar la figura de uno de los dioses del inframundo Ptah (Belmonte, 1999).

Los egipcios consideraban el universo como una caja rectangular orientada de norte a sur, en la que la Tierra (Geb) era la parte inferior con forma de disco cóncavo, rodeado de montañas y flotando en las aguas del abismo Nun. La diosa Nut aparece arqueada, tocando con los dedos de sus pies y de sus manos la tierra, representando las estrellas y con los planetas suspendidos de su cuerpo.

El cosmos para los chinos

La astronomía china se desarrolló de forma independiente a la occidental dada la lejanía entre las distintas culturas. Las primeras observaciones astronómicas de las que se tiene registro parecen datar del 4000 a.n.e., y estaban impulsadas por la creencia de que las posiciones de los distintos astros servirían para predecir el futuro.

Los astrónomos chinos fueron capaces de realizar un catálogo de 1464 estrellas agrupadas en 283 constelaciones, que a su vez formaban parte de 28 sectores del cielo denominados *Xiu* y clasificados estos en los cuatro puntos cardinales.

En sus observaciones del Sol, fueron capaces de detectar las manchas solares a lo largo de toda la historia de la astronomía china, siendo las primeras durante la dinastía Shang (1700-1027 a.n.e.). La predicción de los eclipses jugaba

un papel importante dado que estos presagiaban buenos o malos augurios, y su predicción podía transformar los últimos en los primeros. La primera predicción de un eclipse parece datar de 2137 a. n. e.

El calendario chino es un calendario lunisolar, construido de nuevo con fines tanto prácticos como astrológicos, con una supuesta capacidad predictiva que otorgara poder a la dinastía correspondiente, de ahí el apoyo de estas a la astronomía.

La forma de entender el universo como un todo en la antigua China tenía que ver más con la faceta mítica que con una observación científica del cosmos. En una de las diferentes cosmologías chinas, la tierra esférica se encontraba suspendida en las aguas, y a su vez encerrada en otra esfera ahuecada que contenía el agua y vapor, en el que flotaban las estrellas.

El cosmos para los mayas

La conquista del nuevo mundo trajo consigo la destrucción de mucho del legado escrito, quedando oculto gran parte del conocimiento astronómico del pueblo maya. Igual que en otras culturas, la práctica astronómica estaba relacionada con la búsqueda del poder por parte de los gobernantes mediante la predicción, sin olvidar de sus aplicaciones más prácticas como las relacionadas con la agricultura.

La medida del tiempo y los ciclos astronómicos jugaron un papel preponderante en la astronomía maya. Se han encontrado pruebas de hasta diecisiete calendarios distintos, siendo dos calendarios, uno de 260 días utilizado exclusivamente para predicciones astrológicas y otro de 365 días con aplicaciones más prácticas, los más importantes. En este último calendario, los mayas intercalaron un año bisiesto de 366 días para ajustarlo a las observaciones

astronómicas. Ambos calendarios coincidían en el tiempo cada 73 años rituales o 52 años solares, período llamado gavilla de años (Rodríguez, 1998).

En la concepción maya del cosmos la Tierra está representada por un caimán, y sobre este cada uno de los trece niveles del cielo, y por debajo los nueve niveles del inframundo. En el centro se encuentra la Ceiba, un árbol que representa la Tierra, y en cada uno de los puntos cardinales se sitúan los Bacab (divinidades) que sostienen la capa de los cielos.

El cosmos para otras culturas

Pero no solo las grandes civilizaciones han tenido astronomía y cosmología. Muchos son los restos arqueológicos de muy diferentes culturas que demuestran que desde prácticamente los inicios de la humanidad, el ser humano ha sentido fascinación por los cielos y ha utilizado las aplicaciones prácticas de la astronomía. Pueden encontrarse monumentos alineados con los astros diseminados en toda la superficie del planeta. Una muestra de estos es la que sigue:

Stonehenge

Situado en la llanura de Wiltshire (Inglaterra) parece que se construyó en torno al 3020-2910 a. n. e. Después de muchísimas interpretaciones y estudios del significado de Stonehenge, lo único que puede decirse con seguridad es que el eje principal del monumento, está alineado en la dirección de salida del Sol en el solsticio de verano o de la puesta en el de invierno, y que quizá haya algún alineamiento lunar (Fernández & Montesinos, 2007).

La rueda de la medicina

El observatorio más antiguo de las américas, construido por los Saskatchewan alrededor del año 600 a. n. e., señala la salida del Sol en el solsticio

de verano (Sagan, 2004). La rueda está formada por 28 radios hechos con piedras, un montículo central y 6 montículos a su alrededor. Mirando de un montículo a otro se observa las direcciones de salida y puesta del sol en el solsticio de verano y los ortos de estrellas como Aldebarán, Sirio y Rigel (Stanford Solar Center, 2008).

Los toros de Guisando

Estas cuatro figuras de granito fueron esculpidas entre los siglos I y II a. n. e. por los Vetones y se encuentran en El Tiemblo, en la provincia de Ávila. Se encuentran orientados de manera casi perfecta al equinoccio (Belmonte, 1999)

Kiva ceremonial de los indios Anasazi

Los indios Anasazi ocuparon la zona del suroeste norteamericano sobre el siglo X n. e. Construyeron en un templo circular (kiva) en el que un rayo de Sol entraba al amanecer por una de las ventanas para acabar posándose en sobre un nicho especial alrededor del 21 de Junio. Además en el kiva existen 28 nichos que podrían estar relacionados con el periodo Lunar (Sagan, 2004).

2.2.2 La astronomía griega

Las primeras concepciones griegas

El estudio de los fenómenos celestes estuvo ligado desde sus comienzos a la religión y la astrología, y como señala Sagan (2004) *“durante miles de años los hombres estuvieron oprimidos por la idea de que el universo es una marioneta cuyos hilos manejan un dios o dioses, no vistos e inescrutables”*. Esto iba a cambiar con el nacimiento en Jonia de los primeros hombres que comenzaron a pensar que todo en la Tierra estaba compuesto de átomos, que la Tierra solo era un planeta que giraba alrededor del Sol y que las estrellas estaban muy lejos de nosotros. Esto

generó la idea de que el universo se puede conocer, dado que existen en él regularidades que nos permiten acercarnos a su estructura desde un punto de vista científico, sin necesidad de recurrir a la invención de leyendas.

Pero, ¿qué hizo que esta idea de un universo ordenado apareciera en Jonia?, ¿por qué no surgió en otros pueblos que también habían dirigido sus esfuerzos a observar los cielos? La ventaja de los jonios es que eran un pueblo disperso geográficamente, formado por multitud de islas y sistemas políticos que generaron una diversidad de pensamientos. Una amplia alfabetización y un poder político en manos de mercaderes que buscando la prosperidad, favorecieron el estudio de la tecnología. Además Jonia se encontraba en la confluencia de las civilizaciones egipcia y mesopotámica, que alcanzaron un alto desarrollo técnico, y los sabios jónicos tomaron de estas muchas de sus ideas iniciales (Valenzuela, 2010) purgándolas de sus características astrológicas (Farrington N, 1986). Esta revolución del pensamiento humano tuvo lugar alrededor del siglo VI a. n. e., y sentó los cimientos del pensamiento científico (Sagan, 2004).

Tales de Mileto

El primero griego que trató de entender el cosmos racionalmente fue Tales de Mileto (639-547 a. n. e.), huyendo de intervenciones divinas. Tales consideraba la Tierra como un disco plano flotando sobre las aguas, rodeado por la bóveda esférica del cielo que rota a su alrededor y contiene a las estrellas y al Sol.

Anaximandro de Mileto

Anaximandro (610-546 a. n. e.), fue discípulo de Tales y en su modelo cosmológico propuso que la Tierra tiene forma de cilindro achatado, suspendida en el centro del universo, y que a su alrededor se encuentra la esfera celeste. La esfera

celeste se encuentra inmersa en el *apeiron*, la sustancia que se encuentra en el origen de todas las cosas. Podemos ver las estrellas, la Luna y el Sol gracias a ventanas abiertas en el *apeiron* con forma de anillo.

El modelo geocéntrico

Los antiguos griegos explicaron sus observaciones (el Sol y la Luna salen por el este y se ponen por el oeste, las estrellas giran) mediante el modelo geocéntrico, según el cual la Tierra era el centro del universo, estaba inmóvil, y el Sol y el resto de los astros se movían a su alrededor. Esto nos debe hacer pensar que las concepciones del universo de aquella época no eran tan descabelladas, pues se apoyaban en observaciones de la vida cotidiana, en evidencias del sentido común.

Una primera expresión del modelo la realizó Aristóteles (384-322 a. n. e.). Ordenaba todos los cuerpos celestes desde la Tierra hacia afuera: Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno. La esfera más externa de las estrellas fijas era movida por el Primer Motor. Todas las cosas por debajo de la esfera de la Luna estaban hechas a base de los cuatro elementos terrestres, tierra, agua, aire y fuego. Los cielos estaban formados por un quinto elemento más puro, la quintaesencia o éter. Los cuerpos celestes eran incorruptibles y eternos, siéndolo también sus movimientos, que eran en consecuencia circulares y uniformes. En la Tierra se daba la generación y corrupción por lo que los movimientos terrestres eran rectilíneos y tenían principio y fin como todos los fenómenos terrestres. Estableció así una clara diferencia entre física terrestre y celeste.

Otras contribuciones griegas a la astronomía fueron las de Aristarco (310-230 a. n. e.), que estimó las proporciones entre los radios de la Tierra, la Luna y el Sol y sus distancias relativas y, al comprobar que el Sol era mayor que la Tierra, planteó el primer sistema heliocéntrico conocido. Eratóstenes (276-195 a. n. e.), que estimó por vez primera el radio de la Tierra, unos 6400 km lo que permitió

calcular los radios y las distancias del Sol y la Luna. Hiparco (190-120 a. n. e.), que determinó las posiciones de unas 1.080 estrellas, clasificándolas en 6 magnitudes de brillo. Claudio Ptolomeo (85-165) que escribió un tratado sistemático que recoge y sistematiza el modelo geocéntrico y toda la astronomía griega, que se conoce por el nombre de su versión al árabe, el *Almagesto*.

En la Edad Media destacan los árabes que siguen utilizando el modelo geocéntrico y son grandes observadores porque las mediciones astronómicas son indispensables en la práctica del Islam. Estas mediciones solo fueron superadas por Tycho Brahe cinco siglos después.

2.2.3 Astronomía árabe y de otras civilizaciones

Mientras el modelo de Ptolomeo, apoyado por la iglesia durante toda la Edad Media, estaba vigente en el mundo occidental (Sagan, 2004), la astronomía seguía su curso en otras civilizaciones como el Islam, China y Mesoamérica.

Astronomía Árabe

Los musulmanes mostraron un interés especial por la astronomía, considerándola una de las ciencias más nobles y bellas. La necesidad de orientarse a la Meca para realizar ceremonias, el estudio de los movimientos de la luna para fijar su calendario lunar, o el estudio de la astrología fueron algunos de los aspectos tratados por los astrónomos árabes (Fernández & Montesinos, 2007).

Al-Battani (869-929) fue probablemente el astrónomo más importante del mundo árabe y realizó observaciones más precisas que las de Claudio Ptolomeo sobre la oblicuidad de la eclíptica y la precesión de los equinoccios. A este respecto su mayor descubrimiento fue observar como el apogeo terrestre no coincide con el Ptolomeo, concluyendo que el apogeo solar se mueve lentamente con el tiempo.

Destaca también Al-Zarqali (Azarquiel) de Córdoba, que confeccionó las tablas astronómicas toledanas (1080). Dicho modelo se difunde en la Europa medieval cuando Gerardo de Cremona tradujo el *Almagesto* el 1175.

Los astrónomos árabes también intentaron construir modelos nuevos diferentes al de Ptolomeo. Abubacer (1105-1185) y su discípulo Al-Betrugi (¿-1204) trataron de comprender la constitución del universo explicando el movimiento de toda la esfera celeste (de este a oeste) y del Sol, la Luna y los planetas (de oeste a este), por medio de la transmisión del impulso desde el Primer Motor. Nassir al-Din al-Tusi (1201-1273) corrigió el modelo de Ptolomeo matemáticamente, eliminando de esta forma los deferentes de las órbitas.

Podemos ver que el universo para los antiguos se limita a los planetas más interiores del sistema solar y a las estrellas fijas, es decir, el universo visible con los ojos. Esta idea limitada del universo prevaleció hasta que los telescopios, a partir del siglo XVII, permitieron ampliar la imagen y tamaño del universo.

Astronomía Maya

En la ciudad de Chichen Itzá se encuentra “El Caracol”, un edificio con funciones de observatorio astronómico en el que pueden encontrarse numerosas ranuras orientadas para enfocar distintos eventos astronómicos.

Uno de los objetos celestes más estudiados por los mayas fue Venus, tal y como aparece en el código de Dresde fechado en el siglo XII. Para este descubrieron sus ciclos, detectando que Venus y la Tierra tardan 584 días en alinearse respecto a una determinada posición del Sol. De este período, durante 263 días aproximadamente Venus se comporta como el Lucero del Alba (Kukulcán, dios de las artes y la guerra), desaparece durante 60 días y reaparece como “Lucero Vespertino” (Chac, dios de la lluvia y la fertilidad) durante otro período de 263 días

aproximadamente, volviendo a desaparecer entre el Sol y la Tierra entre tres y trece días (Fernández & Montesinos, 2007).

Además de la atención prestada al Sol y a Venus, los mayas fueron capaces de obtener cálculos muy exactos del período lunar con tan solo 24 segundos de diferencia con la precisión actual, proporcionándoles la habilidad de predecir eclipses con mucha precisión. La Vía Láctea, Marte, las Pléyades y Orión fueron otros de los objetos estudiados.

Astronomía China

Los astrónomos chinos realizaron medidas del movimiento de precesión de la Tierra, de importancia no solo para el calendario sino también para conocer la posición de las estrellas y la navegación. La primera medida de la precesión la realizó Jin Xi Yu (281 – 256), pero fue ZuChongzhi (429-500) el primero que la incorporó en el calendario (Universidad de Mayne, 2007).

El 4 de Junio del año 1054 los astrónomos chinos apuntaron la presencia de una “estrella invitada” en la constelación de Tauro, actualmente llamamos a ésta la supernova del cangrejo (Sagan, 2004).

La astronomía China continuó su avance y su punto álgido se produjo sobre el 1280, con Guo Shoujing, el cuál reunió el saber astronómico basado en observaciones de los últimos 1500 años e inventó o mejoró una serie de instrumentos astronómicos.

2.2.4 La revolución científica

Del modelo geocéntrico al modelo heliocéntrico

El problema más grave con el que se toparon los astrónomos de la época era el de dar cuenta de los movimientos de los planetas, el Sol y la Luna sobre la esfera celeste de las estrellas fijas. Nuestra estrella, nuestro satélite, y los cinco planetas visibles sin instrumentos ópticos, no giran solidariamente con las estrellas, sino que su posición varía respecto a estas en el transcurso de un año. Aristarco de Samos ya había sugerido varios siglos antes, que estos problemas se simplificarían al considerar el Sol en el centro del universo y la Tierra girando en torno a él. La aparente contradicción del modelo con el sentido común, y las corrientes filosóficas clásicas que consideraban que la Tierra debía ocupar un lugar especial en el universo, hicieron que su teoría no lograra una gran aceptación.

El modelo geocéntrico no fue superado fácilmente. Tuvo vigencia durante casi 20 siglos, desde Aristóteles hasta que Nicolás Copérnico (1473-1543) publicó en 1543 su libro *De las revoluciones de las esferas celestes*, donde se expone el modelo heliocéntrico. Copérnico, que además de astronomía y matemáticas, estudió leyes, pintura y medicina, no menciona en su obra los motivos que le llevaron a desplazar a la Tierra del centro del universo en beneficio del Sol. Uno de esos motivos pudo ser la variabilidad del brillo de Marte, que indicaba variabilidad en su distancia a la Tierra, algo inexplicable con la teoría geocéntrica.

El sistema propuesto por Copérnico no fue aceptado de inmediato, pero sembró la semilla en el momento histórico adecuado para que hombres de la talla de Kepler, Bruno y Galileo empezaran a cuestionarse la visión del universo que había estado vigente durante tanto tiempo.

El astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630) trabajó con el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) y utilizó sus datos para perfeccionar el sistema heliocéntrico. Encontró que las posiciones de Marte no se ajustaban a las órbitas circulares de Copérnico. Esto le llevó a enunciar, tras años de trabajo, las leyes que llevan su nombre: Primera, todos los planetas se mueven en órbitas elípticas (casi circulares), ocupando el Sol uno de los focos. Segunda, la rapidez del planeta en la elipse es mayor cuanto más próximo está del Sol. Tercera, el período de un planeta aumenta cuando lo hace el radio medio de su órbita.

La teoría heliocéntrica de Copérnico suponía la ruptura radical con las concepciones vigentes, y por ello se encontró con una fuerte oposición tanto científica como ideológica. Fue muy atacada durante más de cien años porque rompía con el modelo geocéntrico, que era coherente con las concepciones feudales dominantes, tanto religiosas como sociales: el papel central de la Tierra en la historia de la salvación del hombre, la necesidad de un primer motor y la existencia de jerarquías naturales.

Los argumentos de tipo ideológico contra el sistema copernicano derivan de su oposición a dichas concepciones apoyadas por la nobleza y el clero. Se utilizaron, en particular, textos de la Biblia como el que afirma que el Sol se detuvo y la Luna se paró (Josué 10, 13). Estos argumentos se basaban en una interpretación literal de la Biblia, que no distinguía el mensaje de la forma literaria en que estaba escrito, fruto de la antigua cultura judaica. Esta literalidad interpretativa de la Biblia se ha continuado utilizando hasta el siglo XIX en contra de las teorías científicas sobre el origen del hombre o la edad de la Tierra. Pero lo peor es que los defensores del geocentrismo no se limitaron a los argumentos, y sus oponentes fueron sometidos a persecuciones. Aunque Copérnico se libró de ellas al publicar su libro el mismo

año de su muerte, Martín Lutero le tachó de loco y hereje y la iglesia católica incluyó las *Revoluciones* en el *Índice de libros prohibidos*.

Además, había dificultades "científicas" porque las observaciones efectuadas a simple vista estaban en perfecta concordancia con el modelo geocéntrico y no existía explicación más natural de las mismas. Se argumentaba que si la Tierra se movía los objetos, incluida la atmósfera, saldrían despedidos; un objeto dejado caer verticalmente desde una torre chocaría con la pared o se alejaría de ésta; se observaría paralaje de las estrellas fijas, etc. Pero estos argumentos físicos eran incorrectos. Para comprenderlo fue necesario recorrer el largo proceso en el que fueron construidos conocimientos sobre gravitación (Newton), cinemática (Galileo) y astronomía.

Las contribuciones de Galileo

Otra gran contribución al nuevo modelo fueron las observaciones astronómicas de Galileo (1564-1642) publicadas en latín en el libro *Sidereus Nuncius (El mensajero celestial, 1610)*. En él expone como el telescopio que él mismo construyó le permitió observar la existencia de cráteres y montañas en la Luna, descubrir los 4 mayores satélites de Júpiter (Ío, Europa, Ganímedes y Calixto) y observar que las estrellas fijas siguen siendo puntuales como a simple vista. Estas observaciones supusieron un importante apoyo a la teoría heliocéntrica porque muestran que los cuerpos celestes no aparecían como perfectos e inmutables, que no todos giraban en torno a la Tierra y que las estrellas se encuentran muy alejadas. Al publicarlas Galileo, fue advertido por la Inquisición, que le prohibió publicar sobre dicho tema.

Galileo, cuando realizó estos descubrimientos, era profesor de la Universidad de Padua, en la república de Venecia. Lo fue desde 1591 a 1610, pero no estaba

satisfecho con su posición y por esto dedicó su *Sidereus Nuncius* a Cosme Mèdicis Duque de Florencia, e incluso denominó a los satélites descubiertos de Júpiter estrellas de Mediceas para que el Duque le diera trabajo.

Años después, ya en Florencia, pensando que la coyuntura era favorable, porque había sido designado papa su amigo el cardenal Barberini, amplía los argumentos en favor del sistema copernicano en su gran obra *Diálogo sobre los dos grandes sistemas del mundo* (1632). Este libro nos permite entender que los objetos son atraídos por la Tierra y, por tanto, no son despedidos; que los cuerpos que caen verticalmente llevan la velocidad de la Tierra y, en consecuencia, no se alejan de la vertical; y que las estrellas se encuentran a una distancia prácticamente infinita lo cual justifica la ausencia de paralaje. Pero, de hecho, en aquella época, no existía ninguna observación o experimento "crucial", que pudiera explicarse solo por una teoría. Hubo que esperar al descubrimiento de las aberraciones estelares o al experimento del péndulo de Foucault.

Como esta obra no se publica en latín, lenguaje de la iglesia, la cultura y la ciencia, sino en italiano y en forma de diálogo, entre tres personajes (Salviati, defensor de las ideas de Galileo; Simplicio, defensor de las ideas geocéntricas y Sagredo, que actúa de árbitro entre los dos) y con un carácter muy divulgativo, que aún la hace legible en la actualidad, consiguió hacer sus ideas accesibles a la sociedad. Por ello, se inicia una auténtica persecución contra él, pese a su edad avanzada. Fue juzgado por la Inquisición, amenazado con tortura y obligado a renunciar de sus ideas, cosa que Galileo hizo para salvar su vida. De hecho, años atrás, en 1600, Giordano Bruno, había sido sometido a torturas para que renunciase a sus ideas (defendía el heliocentrismo, la infinitud del universo y la

existencia de un gran número de mundos habitados) y, al no hacerlo, fue quemado en la hoguera.

La abjuración de Galileo fue leída públicamente en todas las iglesias de Italia, siendo condenado a permanecer confinado hasta su muerte (que tuvo lugar en 1642) en una villa en el campo. En este encierro escribió *Discursos y demostraciones sobre dos nuevas ciencias pertenecientes a la mecánica y el movimiento global* que se publicó en Holanda, dado que había sido incluida en el “Índice” (donde permaneció junto al de Copérnico y otro de Kepler hasta 1835). Cabe señalar que esta condena de las teorías de Galileo se ha prolongado varios siglos, hasta muy recientemente. El Vaticano no anunció hasta 1968 la conveniencia de anularla y solo la hizo efectiva en 1992.

La gravitación universal

En los cincuenta años siguientes los científicos siguieron abordando el problema de la gravitación. En el siglo XVII Descartes, que identificaba la materia con el volumen, negaba que pudiese existir el vacío. Consideraba que había tres clases diferentes de materia en el universo. El elemento fuego formaba el Sol y las estrellas. El espacio interestelar lo constituía el aire o elemento etéreo. Los planetas y satélites pertenecían a la tercera clase: el elemento tierra. El Sol ocupaba el centro de un vórtice o remolino formado por la primera clase de materia. El movimiento de rotación de dicho vórtice arrastraba a la Tierra y a los planetas. Los vórtices de la Tierra y de Júpiter, que tenían un tamaño más pequeño que los del Sol, arrastraban a la Luna y a los satélites de Júpiter.

También son reseñables los trabajos de Huygens en astronomía, que construyó un telescopio con el que descubrió Titán, un satélite de Saturno, y aclaró

que las protuberancias laterales de este planeta, vistas y dibujadas por Galileo, eran los anillos.

Pero el más destacado fue Isaac Newton (1642-1727) que en 1661 ingresó en el Trinity College de Cambridge como asistente de los pensionistas, donde tuvo como profesor de matemáticas a Barrow y formuló el teorema del binomio. Durante el otoño de 1665 y el año 1666, recién graduado como bachiller de artes, tuvo que retirarse a su granja por la terrible peste de Londres. En este período formuló su hipótesis sobre la fuerza de gravitación, suponiendo que la fuerza que retiene a la Luna en su órbita es la misma que actúa sobre una piedra que cae. En 1667 regresó a Cambridge y, ya maestro en Artes, fue nombrado catedrático de matemáticas en 1669. Esto le dio a Newton la libertad de proseguir sus estudios en mecánica, matemáticas, óptica, astronomía, alquimia y teología y, aunque su fama se debe a las primeras, dedicó buena parte de su tiempo a las dos últimas. En 1672 publica su teoría acerca de la luz y los colores que le envolvió en tan amargas controversias con sus rivales que resolvió no publicar nada.

Los científicos ingleses Halley, Hooke y Wren a partir de la fuerza centrípeta de Huygens y de la tercera ley de Kepler, dedujeron que la fuerza que actuaba sobre los planetas era inversa del cuadrado de la distancia, pero no pudieron deducir la órbita que debería seguir un planeta sometido a dicha fuerza. Por eso en 1684 Halley fue a consultarle a Newton dicho problema. Este le dijo que ya lo había calculado. Halley le persuadió a que publicase este trabajo y en 1687 se publicaron los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, (*Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*) escrito en latín. El gran éxito de esta obra, de difícil lectura en la actualidad y que seguía la estructura deductivo-matemática de

los *Elementos* de Euclides, influyó considerablemente en el estilo de los escritos científicos posteriores.

Consta de 3 libros. En el I estudia los aspectos causales del movimiento de uno o dos cuerpos en el vacío, a partir de los 3 axiomas o leyes de la dinámica. También plantea el problema del movimiento de 3 cuerpos sometidos a su interacción gravitatoria mutua, que aún no se ha podido resolver. En el libro II estudia el movimiento de los cuerpos en medios con rozamiento. Aborda problemas como el flujo de un fluido por un orificio, la propagación de ondas en el agua, la oscilación del agua en un tubo, la resistencia que sufren los cuerpos en fluidos enrarecidos o densos, la propagación del sonido en el aire, la fricción interna de los fluidos, etc. Gran parte de sus soluciones son erróneas, pero define y acota los problemas que se investigarían el siglo siguiente. El libro III trata del sistema del mundo, es decir, de la gravitación.

Con la nueva concepción de fuerza, el problema de los movimientos de los cuerpos celestes se planteaba de forma distinta a como lo hizo Descartes. Efectivamente, cualquier cuerpo que no tenga un movimiento rectilíneo y uniforme estará sometido a fuerzas. Así pues, es lógico plantearse qué fuerza debe estar actuando sobre la Luna para que describa su órbita.

Según señala Newton en los 'Principia': *"El que los planetas puedan ser retenidos en sus órbitas es algo que podemos comprender fácilmente si consideramos los movimientos de los proyectiles. En efecto, una piedra arrojada, por su propio peso, se ve forzada a abandonar la trayectoria rectilínea... viéndose obligada a describir una línea curva en el aire, y merced a ese camino torcido se ve finalmente llevada al suelo. Y cuanto mayor sea la velocidad con que se proyecta, más lejos va antes de caer a tierra. Podemos suponer por tanto que la velocidad se*

incrementa de tal modo que describa un arco de (muchas) millas antes de llegar a la Tierra, hasta que finalmente, excediendo de los límites de la Tierra, pasará totalmente sin tocarla". Como vemos, con esta analogía entre el movimiento de un proyectil y el de la Luna o el de un planeta, Newton estableció, por primera vez, la relación entre el movimiento de los cuerpos terrestres y celestes, superando una de las más grandes barreras del avance del conocimiento científico en la historia de la ciencia.

Conviene detenerse en este momento mostrando los sucesivos pasos que llevaron a esta ley, para no dar una imagen excesivamente simplificadora de la ciencia que olvide las mayores contribuciones de Newton. En primer lugar demostró la necesidad de fuerzas; después que las fuerzas deberían ser centrales para que se cumpliese la 2ª ley de Kepler; en tercer lugar, que las fuerzas deberían variar con la inversa del cuadrado de la distancia para que la trayectoria descrita por cuerpos fuese cónica (elipse, circunferencia, parábola o hipérbola); y, por último, que las fuerzas eran debidas a las masas de los cuerpos. Además, tuvo que probar que la masa extensa de la Tierra producía la misma fuerza de atracción que si toda su masa se hallase concentrada en el centro. Para ello necesitó inventar, independientemente de Leibniz, el cálculo integral y diferencial, que denominó cálculo de fluxiones.

La verificación experimental de la ley de la Gravitación encontraba la dificultad de que no se conocía la masa de los astros. De manera que, como es frecuente en la ciencia, Newton tuvo que recurrir a una verificación indirecta, es decir, a la comprobación de alguna consecuencia de la ley. Así, considerando circulares, en primera aproximación, las órbitas de los planetas y teniendo en cuenta que la fuerza centrípeta que actúa sobre los mismos sería debida a la

atracción gravitacional por parte del Sol, dedujo la relación entre el periodo de un planeta y su distancia al Sol que coincidía con la tercera ley de Kepler, obtenida a partir de observaciones astronómicas. Aplicando un método similar Newton dedujo el período de rotación de la Luna alrededor de la Tierra. Los únicos datos de que disponía eran el radio de la Tierra (unos 6370 km), la distancia Tierra Luna (unas 60 veces el radio de la Tierra) y el valor de la aceleración de la gravedad g ($9,8 \text{ ms}^{-2}$) y a partir de ellos obtuvo un valor que coincidía con el observado (28 días).

A pesar de la debilidad de las fuerzas gravitatorias para cuerpos utilizables en el laboratorio, unos cien años después, Cavendish (1731-1810) realizó la verificación experimental directa de la ley de Newton midiendo la atracción entre dos esferas de plomo mediante una balanza de torsión y, consiguientemente, determinó la constante de la gravitación universal G , aunque realmente, el experimento de Cavendish buscaba calcular la densidad de la Tierra y no la constante universal como suele atribuírsele (Moreno A. , 2000). Una vez conocido el valor de G podemos determinar la masa de la Tierra. Por ello se dice que Cavendish fue el primer hombre que "pesó" la Tierra. Además, con la tercera ley de Kepler podemos calcular la del Sol o cualquier planeta con satélites (cuyo periodo y distancia con respecto al planeta conozcamos).

Aplicaciones de la astronomía

La ley de gravitación universal, permitió explicar una serie de fenómenos. En primer lugar, las perturbaciones en la trayectoria de la Luna por la influencia gravitatoria de los restantes cuerpos del sistema solar. Así mismo, las mareas oceánicas porque la Luna (y en menor proporción el Sol) atraen la parte más próxima del océano y tienden a elevar las aguas; y la forma de esferoide achatado de los planetas por el efecto combinado de la gravitación (que formaría esferas a partir de la materia inicialmente dispersa) y de la rotación alrededor del eje

(ensanchamiento en el ecuador y aplastamiento en los polos). Por último, las distintas trayectorias que pueden describir los cometas. Si los cometas son periódicos, su trayectoria será una elipse muy excéntrica. El más famoso de ellos es el cometa que Halley estudió cuando apareció en 1682 y para el que predijo un periodo de aproximadamente 75 años. Su vuelta en 1756 y tres veces más desde entonces, tras recorrer una amplia elipse que se extiende más allá del último planeta, fue interpretada como un importante triunfo de la mecánica newtoniana. Si los cometas no son periódicos, su trayectoria será abierta, es decir, una hipérbola o una parábola.

Desde Halley hasta la actualidad se han producido una serie de descubrimientos astronómicos relacionados con la ley de gravitación que han puesto de manifiesto su carácter universal, es decir, que el movimiento y la posición de los cuerpos celestes están regidos por las mismas leyes que los cuerpos terrestres. Así, por ejemplo, el descubrimiento de nuevos planetas a partir de las perturbaciones que producen en sus órbitas los planetas ya conocidos: las irregularidades en la órbita de Urano, descubierto en 1781 por Herschel, condujeron al descubrimiento de Neptuno en 1846 por Leverrier y Adams; por las perturbaciones que producía en este último fue descubierto Plutón en 1930 por Tombaugh. Pequeñas perturbaciones en la órbita de Mercurio fueron atribuidas a un planeta más próximo al Sol y no detectado, hasta que fueron explicadas por la teoría general de la relatividad de Einstein.

Hacia 1784 Herschel mostró que las estrellas observables constituían un sistema con forma de lente, es decir, una galaxia. En consecuencia si miramos en la dirección del plano de la galaxia vemos muchas estrellas y, en dirección perpendicular a él pocas, por tanto la Vía Láctea corresponde al plano de nuestra

galaxia. El mismo Herschel observó en 1803 que algunas parejas de estrellas próximas giran una alrededor de la otra (estrellas binarias), según la ley de la gravitación. También se observó (Halley en 1714, Messier en 1781) que las estrellas tienden a agruparse por efecto de la gravitación, formando cúmulos globulares y abiertos. Por último, desde que en 1923 Hubble, director del Observatorio del Monte Wilson, mostró la existencia de otras galaxias y, como veremos más adelante, se ha observado que éstas se agrupan en cúmulos y supercúmulos galácticos.

2.2.5 Imagen actual del universo

Cosmología

Con el avance de la astronomía, la astrofísica y la llegada de la Teoría de la Relatividad General, el ser humano se encuentra con la posibilidad de encontrar una explicación al universo. Gamow formula el problema de la cosmogonía científica *“en el sentido de reconstruir el proceso evolutivo que permitió llegar de la sencillez de los primeros días de la creación a la inmensa complejidad actual del universo que nos rodea”* (Gamow, 1993). A este problema se llevan enfrentando los físicos desde que en 1917, Einstein trató de encontrar una solución a sus ecuaciones de la teoría general de la relatividad que describa la geometría del universo. A partir de las ideas cosmológicas de su época supuso que el universo era estático, pero al ver que sus ecuaciones no proporcionaban una solución estática, se vio obligado a introducir la constante cosmológica, que implicaba una repulsión entre las galaxias para compensar la atracción gravitatoria, debida a la expansión del propio espacio. Años después lo calificó como *“el peor error de mi vida”*. Sugirió que la curvatura del espacio podía hacer el universo cerrado, pero sin límites, ya que un haz de luz propagándose se curvaría por la presencia de materia y acabaría volviendo a su punto de partida. Esto implica que el universo posee un radio pero no un centro o un límite. El mismo año William de Sitter obtuvo otra

solución estacionaria. En 1922 el soviético Alexander Friedmann obtuvo unas soluciones generales no estáticas de las ecuaciones de Einstein que implicaban un universo en expansión (o contracción), que no fueron inmediatamente conocidas en Occidente, por lo que el belga George Lemaître, que había estudiado con Eddington, las obtuvo independientemente en 1927. Implicaban un radio que crece con el tiempo, lo que le llevó en 1931 a proponer una solución con radio nulo en el origen del tiempo, es decir, a la idea del “átomo primordial” (nombre que no tuvo fortuna) como origen del universo.

Pero estos trabajos medio olvidados por su carácter matemático cobran actualidad cuando Edwin Hubble, astrónomo en el gran telescopio de Monte Palomar (EEUU), observa que muchos objetos denominados nebulosas son realmente galaxias exteriores a la Vía Láctea y descubre en 1929 que las líneas espectrales de dichas galaxias estaban desplazadas hacia longitudes de onda mayores (desplazamiento hacia el rojo). Este hecho explicado por el efecto Doppler demostró que las galaxias se alejaban de la Tierra con una velocidad v mayor cuanto mayor era su distancia d a nosotros según la ley $v = H \cdot d$, donde H es la “constante” (es posible que no lo sea) de Hubble. Esta H es igual a la inversa de la edad del universo, por lo que la velocidad de alejamiento de las galaxias nos da datos sobre esa edad. Estos datos se ven confirmados por otros, como la abundancia en la Tierra de los isótopos de Uranio 235 y 238 y los cálculos sobre la evolución de las estrellas, e indican que la expansión del universo comenzó hace unos 13700 millones de años, lo que a su vez nos indica que el tamaño del universo visible sería de unos 13700 millones de años luz. Actualmente se considera el tamaño del universo observable de 46000 millones de años luz, dado que el universo se ha expandido desde su comienzo y la luz tiene que atravesar un espacio mayor (Davis & Lineweaver, 2004; Davis & Lineweaver, 2005)

En 1946 Georges Gamow, que había estudiado con Friedmann, y sus colaboradores Ralph Alpher y Robert Herman elaboran una teoría que explica el origen del universo a partir de la explosión de un núcleo inicial que contenía toda la materia y la energía del universo actual, denominada con ánimo de ridiculizarla “*bigbang*” (Gran Explosión) por Fred Hoyle, nombre que actualmente denomina la teoría. Las condiciones tan particulares de dicho objeto tuvieron como consecuencia que su densidad, temperatura y gravedad alcanzaran valores máximos. Como consecuencia de la gran explosión inicial, empezó la expansión del universo (no se trata de que el núcleo proyectase violentamente hacia el exterior toda la materia que contenía sino de que el espacio se crea en la expansión), disminuyendo la temperatura y la densidad. Al mismo tiempo que se expandía, se formaron las partículas elementales, los átomos sencillos (hidrógeno, deuterio, helio), las galaxias, estrellas y sistemas solares y, finalmente, la vida. Dos años después predijeron una radiación de fondo de unos 5 K (grados Kelvin).

El universo en expansión creado a partir de un núcleo inicial compitió con la idea de un universo estacionario para convertirse en la teoría más aceptada en la década de los 50. La mejor forma de dilucidar la cuestión que enfrentaba a ambas teorías es, en palabras de Gamow (1993), *“acumular datos sobre la edad probable de las distintas partes fundamentales y hechos que caracterizan el estado presente de nuestro universo”*. En su libro recopila las edades obtenidas con distintos métodos, de átomos, rocas, océanos, la Luna, el Sol y las estrellas, los cúmulos galácticos y la Vía Láctea, obteniendo para todas ellas un valor que coincidía de forma aproximada. El autor concluye que *“... los hechos básicos que caracterizan al universo tal cual lo conocemos hoy, son el resultado directo de algún proceso evolutivo que debe haber comenzado hace (...) miles de millones de años”*.

La predicción de Hubble se olvidó hasta que en 1964 el astrofísico Arno Penzias y el físico Robert Wilson, investigadores de los laboratorios Bell, que trabajaban en la detección de ondas de radio de la galaxia fuera del plano de la Vía Láctea, encontraron la existencia de un ruido proveniente de todas las direcciones del espacio con una longitud de onda de 7,35 cm (microondas). Trataron de descartar todas las posibles fuentes del ruido (electrónica, excrementos de paloma alojados en su antena, foco de ondas de las cercanías, etc.). Estas microondas de temperatura alrededor de los 3K, coincidían con la predicción realizada ese mismo año por Robert H. Dicke y James Peebles. Estos físicos habían reproducido de manera independiente los estudios de Gamow, Alpher y Herman, llegando a la misma conclusión: El universo primitivo como consecuencia de su elevada temperatura había emitido radiación, que actualmente y debido a la expansión del espacio ahora debía encontrarse muy desplazada al rojo. Cuando Dicke y Peebles se disponían a verificar su predicción teórica recibieron la noticia de que el grupo de Penzias y Wilson se habían adelantado a su descubrimiento.

En resumen, la teoría de la Gran Explosión se considera confirmada por esos tres hechos: 1) La existencia de la radiación de fondo de microondas. 2) La separación de las galaxias o su desplazamiento hacia el rojo. 3) El análisis de la abundancia relativa de dichos núcleos ligeros: aproximadamente tres cuartas partes de hidrógeno, una cuarta de helio y pequeñas cantidades de deuterio y tritio.

La solución de las ecuaciones de la Teoría General de la Relatividad de Einstein, que Alexander Friedmann elaboró en 1922 ofrece tres modelos de evolución del universo (Figura 1). Es una situación análoga a cuando se lanza desde la Tierra un proyectil hacia el cielo a una velocidad menor, mayor o igual a la velocidad de escape, 11,2 km/s (considerando despreciable el rozamiento con la atmósfera). Si es menor, caerá

de regreso a la Tierra. Si es igual, empezará a escapar y no regresara. Si es mayor escapa con facilidad.

El primer modelo predice un universo que se expande indefinidamente. La cantidad de materia que contiene no es suficiente para equilibrar la expansión por medio de la fuerza gravitatoria. El universo es, por tanto, abierto e infinito. Corresponde a una geometría espacio-tiempo de curvatura negativa como la de una silla de montar.

En el segundo modelo, la evolución del universo corresponde a una expansión en la que la velocidad de separación de las galaxias disminuye gradualmente aunque no llega a ser nula. Como consecuencia, el universo es infinito. La geometría espacio-tiempo pertenece al tipo plano: geometría euclídea.

En el tercer tipo evolutivo de Friedmann la fuerza de atracción gravitatoria de la materia del universo alcanza un valor lo suficientemente grande como para detener la expansión y volver, mediante una Gran Implosión, al estado original y, tal vez, originar nueva Gran Explosión. La geometría que implica este modelo corresponde a una de curvatura positiva como la de una esfera. El universo tiene un volumen infinito pero es cerrado.

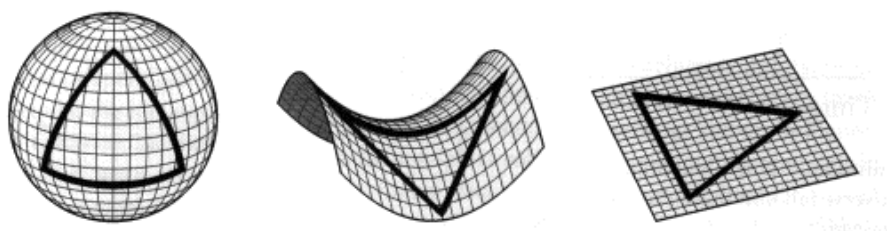


Figura 1. Representación de la geometría de los tres modelos de universo

De acuerdo con lo anterior se puede concluir que la masa que contiene el universo determina su evolución de acuerdo con uno de los tres modelos citados. En

Cosmología se acostumbra a no utilizar la masa sino la relación entre la densidad de la materia del universo y la llamada "densidad crítica". Dicha relación se simboliza por la letra Ω . La "densidad crítica" se refiere a la que tendría un universo que evolucionara de acuerdo con el segundo modelo de Friedmann. Según la Teoría General de la Relatividad, dicha "densidad crítica" tiene un valor de unos 10^{-30} g/cm^3 . Por tanto, si Ω es menor que 1, el universo tendrá una evolución como la descrita por el modelo uno y si el valor de Ω es mayor que 1, la evolución será la correspondiente al modelo tercero.

Después de realizar medidas reales de la masa de las galaxias contenidas en un volumen determinado del universo, se ha obtenido para Ω un valor de 0,1 lo cual implica que nuestro universo evolucionaría de acuerdo con el modelo uno, es decir se expandiría indefinidamente. Otros datos suministrados por el telescopio espacial Hubble apoyan la teoría de que el universo nunca dejará de estar en expansión. En efecto, los datos de su espectrógrafo, cuyo funcionamiento no se ha visto afectado por el defecto en el espejo, indican que la cantidad de deuterio (isótopo del hidrógeno) es de 15 partes por un millón de partes de hidrógeno, inferior a la prevista. Esto indica que no existe suficiente materia en el universo para llevarlo hacia un colapso final.

Sin embargo investigaciones posteriores han puesto de manifiesto la existencia de "materia oscura" que no se había computado con anterioridad por sus efectos gravitacionales. Algunos cosmólogos explican dicha materia oscura a partir de la masa de los neutrinos, otros, como Stephen Hawking mediante agujeros negros microscópicos y otros con partículas exóticas aún no detectadas. Recientemente, datos sobre la velocidad de alejamiento de supernovas lejanas parecen poner de manifiesto que la velocidad de expansión del universo se está acelerando, debido a una expansión del propio espacio. Si dos partículas se separan, no se conserva la energía del sistema, por lo cual se ha introducido una energía del vacío (u oscura), recuperando así la constante cosmológica de

Einstein. Estos 3 ingredientes, materia ordinaria y oscura y energía oscura harían que $\Omega = 1$. Pero lo cierto es que en la actualidad no se conoce con exactitud el valor de Ω y no se puede asegurar si nuestro universo es abierto, cerrado o plano ni su evolución futura.

Volviendo al descubrimiento de la radiación de fondo de microondas, el hecho de que se observe con igual intensidad y con un grado de precisión muy elevado, indica que el universo tenía una temperatura y densidad casi uniformes. Esto sugiere que en algún momento las regiones que emiten esta radiación estuvieron en equilibrio, pero el tiempo transcurrido entre el Big Bang y este momento fue demasiado pequeño para que alguna interacción se propagara, como máximo a la velocidad de la luz. Este es el llamado “Problema del horizonte”

Existe otro problema que surge de la teoría del Big Bang, y radica en el delicado equilibrio entre la potencia del estallido y la fuerza de gravedad. Este equilibrio puede decantarse por un modelo de universo u otro, tal y como se señala antes, de entre las posibles soluciones obtenidas por Friedmann. El conocido como “Problema de la planitud del universo”, es un problema porque cualquier mínima desviación en la densidad del universo respecto a la densidad crítica, habría supuesto un universo muy distinto al que conocemos. Un 1% por encima habría formado un universo que en poco más de tres minutos se hubiera vuelto a contraer, y un 1% por debajo un universo sin la densidad necesaria para formar las galaxias.

La teoría de la inflación propuesta por Alan Guth en 1981, resuelve ambos problemas sugiriendo que muy poco después del nacimiento del universo (10^{-35} s), este experimentó un aumento de su tamaño de 10^{50} veces durante un breve intervalo de tiempo (10^{-20} s). La idea de Guth es que el universo primigenio contenía una materia singular capaz de ejercer una fuerza antigravitatoria. Desde la física de partículas vio respaldada su idea con el concepto de falso vacío (Vilenkin, 2006).

Astrofísica. Evolución de las estrellas

Las primeras ideas sobre la fuente de la energía en las estrellas fueron propuestas en el siglo XIX por Kelvin y Helmholtz, que sugirieron provenía de la energía de la gravedad al contraerse la estrella. En 1920 Arthur Eddington propone la energía nuclear como solución, pero no fue hasta el 1938 cuando el físico Hans Bethe descubrió el proceso de nucleosíntesis estelar, en lo que se conoce como ciclo del carbono. Por su descubrimiento recibió el Nobel en 1967.

El origen de las estrellas se encuentra en la agregación, producida por la fuerza de gravitación, de núcleos de hidrógeno y helio que forman el gas estelar. A medida que dicha fuerza atrae a los núcleos, se juntan y se produce un calentamiento del gas. Cuando la temperatura es del orden de 10 a 20 millones de grados, los núcleos de hidrógeno sufren un proceso de fusión nuclear y se origina helio. Mientras la estrella se encuentra en esta fase se dice que evoluciona siguiendo la secuencia principal. En el caso de una estrella del tamaño del Sol dicho periodo tiene una duración aproximada de diez mil millones de años.

La fusión del hidrógeno tiene como consecuencia un aumento de la concentración de helio en el núcleo de la estrella y una disminución de los núcleos de hidrógeno. Al incrementarse la proporción de átomos más pesados, el núcleo de la estrella se hace más denso, se contrae y se calienta más. El aumento de temperatura permite el desarrollo de reacciones nucleares del helio que tienen como resultado la formación de elementos más pesados (carbono y oxígeno). El calor producido en estas nuevas reacciones de fusión hace que la estrella aumente su tamaño y se enfríe. Se ha convertido en una gigante roja.

Después de agotado el helio, se realizan reacciones de fusión dando como resultado núcleos cada vez más pesados. Cuando se obtiene hierro, las fusiones nucleares terminan porque las reacciones necesitarían energía para producirse.

Las fases siguientes de la evolución estelar vienen determinadas por la masa de la estrella. En los cuerpos de masa inferior a 1,5 veces la del Sol (límite de Chandrasekhar) la estrella se colapsa por las fuerzas gravitatorias dando lugar a enanas blancas, cuerpos de miles de km de radio y una densidad muy grande (10^4 kg/cm^3). La energía emitida disminuye con el tiempo y la estrella se transforma en un cuerpo oscuro y frío llamado enana negra.

Si la masa de la estrella está comprendida entre 1,5 y 2,5 veces la masa del Sol (límite de Landau-Oppenheimer), el colapso gravitatorio hace que los electrones caigan al núcleo y reaccionen con los protones que se encuentran en él. De esta manera se forman neutrones y neutrinos. La estrella se transforma en una estrella de neutrones, con radios de decenas de km y densidades de 10^{10} kg/cm^3 . Una variedad de estas estrellas la constituyen los pulsares que emiten ondas de radio de forma periódica como consecuencia de su movimiento de rotación, como un faro. Por ellos sus descubridores, Hewish y Jocelyn Bell inicialmente pensaron que se podía tratar de una señal de inteligencia extraterrestre. La materia exterior de la estrella de neutrones es expulsada violentamente por la onda expansiva creada en el núcleo. En este caso se dice que ha tenido lugar la explosión de una supernova. En Europa se han observado explosiones de ese tipo en 1572, 1604 y 1987. La variedad descrita pertenece a la clase denominada supernova tipo II.

El sistema formado por dos estrellas se llama estrella binaria. Si una de ellas es una enana blanca, puede pasar materia de la mayor a la enana produciendo una violenta explosión de esta última. En este caso se dice que se trata de una supernova tipo I. Las

dos variedades de supernovas presentan características diferentes: en las longitudes de onda comprendidas entre 6.000 y 7.000 Å del espectro de las supernovas tipo II aparece un pico, llamado H-alfa.

Cuando la masa de la estrella es superior a 2,5 veces la masa del Sol, la contracción gravitatoria del núcleo resulta tan grande que ni los neutrones pueden soportar el colapso. Este hecho da lugar a un cuerpo llamado agujero negro que es otro ejemplo de predicción de la Teoría General de la Relatividad, obtenido como una solución de las ecuaciones de la Relatividad General por Karl Schwarzschild, pocos meses después de que en 1915 Einstein enunciara su teoría. Como la densidad de este objeto es tan grande, la atracción gravitatoria resulta enorme y dentro del radio crítico o de Schwarzschild, nada puede escapar a su acción, ni siquiera la luz. De ahí el nombre de agujero negro que propuso Wheeler en 1969. Para hacernos una idea de estas densidades es suficiente ver que si en un agujero negro se iguala la velocidad de escape a la velocidad de la luz, se obtiene el radio de Schwarzschild, que para agujeros negros cuya masa sea igual a la de la Tierra valdría 0.8 cm, a la del Sol 3 km y a la de 3 soles, 9 km.

Como un agujero negro es pequeño y no emite radiación, era difícil dar crédito a su existencia, pero actualmente existen varios candidatos firmes a agujero negro en la constelación del Cisne, en Circe, etc. Son fuentes intensas de rayos X que provienen de sistemas binarios, en los que una estrella visible gira alrededor de un compañero invisible. La mejor explicación es que se está quitando materia de la superficie de la estrella visible que cae en espiral hacia la invisible, adquiriendo una temperatura elevada y emitiendo rayos X. A partir de la órbita observada de la estrella se puede determinar la masa de su compañero invisible y, como en el caso de Cisne X-1 es 6 veces la solar, es muy probable (hasta un 95 %) que se trate de un agujero negro

Los astrofísicos se encuentran cada vez más seguros de que existe un agujero negro en el centro de algunas galaxias, por ejemplo, en M 87, una galaxia gigante que, se encuentra en Virgo, distante unos 52 millones de años luz de la Tierra. Las últimas pruebas las aportó el telescopio espacial Hubble puesto en órbita en abril de 1990, que ha tomado imágenes de la galaxia mejores que las obtenidas hasta ahora. Las imágenes muestran que las estrellas de esta galaxia se encuentran muy concentradas en su centro, como si fueran siendo atraídas hacia el centro y retenidas por el campo de gravedad de un agujero negro con una masa 2600 millones de veces mayor que la del Sol. La existencia del agujero negro no podrá ser confirmada hasta que se mida la velocidad de rotación de las estrellas situadas en sus cercanías y se confirme que concuerda con las predicciones teóricas.

2.2.6 Implicaciones didácticas de la historia

Como hemos visto, el desarrollo histórico de la astronomía es un proceso muy complejo y, posiblemente, una parte de la dificultad del tema está relacionada con esto y con la ausencia de observaciones, cuyo papel en la historia de la astronomía es fundamental, como se puede apreciar en los apartados anteriores. Por eso es conveniente usar la historia de la ciencia (Solbes & Traver, 2003; Mathews, 1994) para llegar hasta el punto de conocimiento en el que nos encontramos, habiendo tenido que pasar por toda una serie de hipótesis, observaciones, experimentos, etc. Y ver que en el proceso se ha pasado de universos centrados en la Tierra (plana en las primeras versiones y esférica después) al modelo heliocéntrico desarrollado por Copérnico, Kepler, Galileo y Newton y, de éste, a la imagen actual de un universo formado por miles de millones de galaxias, ninguna de las cuales ocupa un lugar central. Además, son necesarios una serie de conceptos básicos, aunque sea a nivel divulgativo, de todos los campos de la física, en particular, sobre fuerzas y movimientos, gravitación,

óptica, ondas (efecto Doppler), espectro electromagnético, física nuclear, relatividad, etc.

A partir de los obstáculos que han aparecido a lo largo de la historia de la ciencia, puede extraerse valiosa información sobre las dificultades con las que se encuentran los estudiantes (Mathews, 1994; Driver, Guesne, & Tiberghien, 1992; Saltiel & Viennot, 1985). A pesar de esto algunos autores cuestionan la idea de un paralelismo estricto entre el proceso histórico de aceptación de las teorías y el cambio conceptual de los alumnos.

Las situaciones problemáticas a las que deben enfrentarse los alumnos en su proceso de enseñanza aprendizaje (Solbes & Traver, 2003; Solbes & Traver, 1996) pueden extraerse de los problemas más reveladores surgidos en el proceso histórico de construcción de la ciencia. La importancia del desarrollo histórico de la ciencia estriba no tanto en su cronología, sino en la relevancia que los problemas significativos que surgieron en este desarrollo tienen para poner al estudiante en situación de acometerlos (Solbes & Traver, 2003; Solbes & Traver, 1996; Pérez & Solbes, 2003).

2.3 Fundamentación didáctica

2.3.1 Dificultades de aprendizaje

Existen diversas investigaciones que constatan el abandono de los estudios científicos, en particular los de física, por los y las estudiantes universitarios (Lima, Lang Da Silveira, & Ostermann, 2012) y, en Europa, no solo por los universitarios sino previamente por los de secundaria (Solbes, Montserrat, & Furió, 2007; Rocard, y otros, 2007; Solbes J. , 2011). El informe Rocard afirma que “los orígenes de esta

situación pueden encontrarse en la manera como se enseña la ciencia” (Rocard, y otros, 2007). Pero en realidad se trata de un fenómeno complejo, multicausal, en el que influye, evidentemente, la forma en que se enseñan las ciencias, pero también la imagen pública de las ciencias, el estatus de las ciencias en el sistema educativo y el abandono por parte de las chicas de la física, lo que acentúa el problema en esta disciplina secundaria (Solbes, Montserrat, & Furió, 2007; Rocard, y otros, 2007; Solbes J. , 2011). Desarrollaremos brevemente, siguiendo a Solbes (2013), dichas causas:

- Del estatus de las ciencias en el sistema educativo nos encontramos con el carácter optativo de las mismas a partir de 4º de ESO, con el hecho de mantener unidas la Física y Química en 1º de bachillerato (siendo el único país de nuestro entorno en el que sucede esto) o con las escasas horas de ciencias en el bachillerato científico. No parece que el decreto Wert vaya a mejorar la situación porque mantiene los problemas antes mencionados y, además, producirá la desaparición de la asignatura Ciencias para el Mundo Contemporáneo. Éstas permitían realizar una enseñanza divulgativa y contextualizada de la ciencia a todos los estudiantes de bachillerato e introducir contenidos de astronomía y astrofísica objeto de esta investigación (el origen del universo, la génesis de los elementos, la exploración del sistema solar), quedando a la espera de donde se introducen para ver perspectiva de continuidad del trabajo.
- En cuanto a la imagen pública se constatan en las encuestas que se hacen al público sobre cuestiones científicas que la respuesta más abundante es “no sabe, no contesta” y que la mayoría de la población señala que la ciencia/tecnología afecta mucho a nuestras vidas tanto positiva (aplicaciones a la vida cotidiana) como negativamente (armamentos,

energía nuclear, contaminación, clonación, etc.). Además, aparece una visión deformada y empobrecida en el cine, TV o los cómics, de la actividad científica, presentando a las personas que trabajan en ciencia como alguien genial, varón, blanco, que trabaja aislada e individualmente, o lo que es peor, como antihéroes perversos, locos, o instrumentos del poder (Petit & Solbes, 2012). También se ha detectado en ese artículo la confusión de muchos alumnos entre ciencia-ficción y fantasía-magia (Harry Potter, El señor de los anillos), que no favorece la comprensión de la ciencia, ya que muchos fenómenos y aparatos científicos sin su correspondiente explicación, se convierten en magia o en “cajas negras”, en las que apretando un botón conseguimos satisfacer necesidades sin esfuerzo, mágicamente. Otro factor externo es la escasa presencia de la ciencia en los medios sobre todo si se la compara con otras actividades sociales, y siempre sesgada de forma superficial hacia los documentales sobre la naturaleza.

- En cuanto a las relaciones género-aprendizaje de las ciencias, una de las primeras constataciones es la invisibilidad de las científicas en los contenidos enseñados, como también la diferencia de aspiraciones, expectativas y comportamientos del profesorado y alumnado en la enseñanza de las ciencias. Además, una enseñanza descontextualizada, que no tenga en cuenta la contribución de la ciencia a las necesidades humanas parece ser menos interesante para las chicas (Vázquez & Manassero, 2007), lo que podría explicar su gran abandono de los estudios de física en secundaria.
- Respecto a la enseñanza, se presenta una ciencia que contribuye poco al desarrollo de la competencia científica (Pedrinacci, Caamaño, Cañal, & Pro,

2012), es decir, una ciencia descontextualizada de la sociedad y del entorno (sin relaciones CTS), poco útil y sin temas de actualidad, clases aburridas y poco participativas, con escasez de prácticas de laboratorio o de campo y un elevado fracaso del alumnado cuando es evaluado (Solbes, Montserrat, & Furió, 2007). Se trata de aportaciones de la investigación didáctica que no son tenidas en cuenta por los estudiantes.

La investigación muestra que las dificultades a las que se enfrentan los estudiantes en su formación científica, tienen parte de su origen en las ideas alternativas previas a la formación. Estas, constituyen una barrera importante al haber sido adquiridas por la experiencia o lenguaje cotidianos, y en ocasiones guardan relación con algunas de las dificultades aparecidas en la historia de la ciencia (por ejemplo la separación cielos-tierra aristotélica).

Si bien, es necesario señalar que el concepto de dificultad no se refiere tan solo a las ideas alternativas. Es necesario incluir las dificultades debidas a formas de razonamiento, a la falta de dominio de procedimientos y a las actitudes negativas de los estudiantes (Solbes J. , 2009).

La existencia de razonamientos de sentido común ha sido tratada en la bibliografía y supone para el estudiante otra barrera a superar. Un razonamiento de este tipo puede llevar al alumno a pensar que el tiempo de caída de un objeto puede parecer que dependa del peso del mismo, pregunta que ya se hizo Galileo. Razonamientos similares descritos por Viennot (1996) son el de reducción funcional (omitir casi todas las dependencias para dejar la que más convenga para explicar causalidad) y el de razonamiento secuencial (que consiste en resolver una parte del problema sin contemplar el todo). Como ejemplo del primero podría citarse el tomar la dependencia de las estaciones únicamente con la distancia al Sol, y omitir la dependencia con la inclinación del eje del planeta, que además, en

el caso de la Tierra es la predominante. Para el segundo puede pensarse en el desplazamiento al rojo de las galaxias, que inicialmente puede hacer pensar al estudiante en una posición central en el universo, puesto que todas se alejan de nosotros, aunque una visión más global del problema conduce a la idea de expansión del espacio.

En la enseñanza tradicional, los trabajos prácticos se presentan plagados de instrucciones cerradas que no permiten al estudiante asomarse al método científico (Gil, Carrascosa, Furió, & Martínez-Torregrosa, 1991). Pero en la enseñanza de la astronomía el problema es más grave, porque en esta ciencia las hipótesis se comprueban más por observación que por experimentos, y esta nunca se realiza, hasta el punto de que muchos estudiantes no son conscientes de que la Luna se puede ver de día (Camino, 1998). Una posible razón para esta falta de observaciones es que el profesorado no es capaz de utilizar el laboratorio de astronomía que todos los colegios disponen, el patio de la escuela (Ros, 2009).

La investigación también ha revelado como importantes las actitudes del estudiante hacia la ciencia en el proceso de aprendizaje (Solbes J. , 2009). Estas, pueden clasificarse en actitudes hacia el aprendizaje de la ciencia, actitudes hacia la ciencia y actitudes hacia las implicaciones de la ciencia tal y como aparecen en los trabajos de Solbes y Vilches (1989), Munby (1997) y Manassero et al (2001). Es necesario atender a las actitudes del alumnado, eligiendo contenidos que respondan a sus intereses, evitando una metodología de trabajo excesivamente transmisiva, y tomando en consideración los aspectos axiológicos en la evaluación del alumno (Gavidia, 2008).

Por ello es necesario contemplar el aprendizaje del conocimiento científico, no solo como un proceso de cambio conceptual sino también procedimental y

axiológico (Solbes J. , 2009). El siguiente apartado particulariza algunas de las dificultades comentadas para el campo de la astronomía.

2.3.2 Dificultades de aprendizaje de la astronomía

Pese a la reiteración en la enseñanza del tema y al interés del mismo, hay diversas investigaciones que muestran que el aprendizaje sobre astronomía y los diversos modelos de universo (geocéntricos, heliocéntricos, etc.) presenta grandes dificultades, y una proporción alta de estudiantes no consigue una comprensión adecuada de aspectos básicos de los mismos (Comins, 1993; Trumper, 2001; Hansson, 2006; Scarinci & Lopes de Almeida Pacca, 2006). Estas investigaciones se han centrado en la astronomía del sistema Tierra-Sol-Luna (Dove, 2002; Trundle, Atwood, & Chistopher, 2007; Bryce & Blown, 2013), dejando de lado las aportaciones astronómicas más recientes (Pasachoff, 2001). Además, distintos estudios ponen de manifiesto las carencias del profesorado de todos los niveles en estos temas, principalmente en maestros de primaria tanto en activo (Vega Navarro, 2001) como en formación, bien sea con temática sistema Tierra-Sol-Luna (Camino, 1995; Parker & Heywood, 1998; Atwood & Atwood, 1997) o centrándose únicamente en fenómenos lunares (Ogan-Bekiroglu, Feral., 2007; Mulholland & Ginns, 2008). Esta falta de formación específica se traduce en ideas alternativas del profesorado que acaban transmitiendo al estudiante (Schoon, 1995).

Así, este acercamiento al estudio de la astronomía requiere también un esfuerzo del profesorado, que en la mayoría de los casos no posee los conocimientos necesarios para abordar la cuestión, siendo conveniente la realización de cursos de formación (Bode, 2008). Un punto de partida para esta formación se encuentra en el estudio del modelo Sol-Tierra, a partir de las observaciones sobre el movimiento aparente del sol y la creación de un modelo explicativo (Martínez Sebastiá, 2004; López-Gay, Jiménez Liso, Osuna, & Martínez-

Torregrosa, 2009; Jiménez Liso, López-Gay, & Martínez Chico, 2012). Además de los aspectos científicos deben tratarse los aspectos psicopedagógicos realizando un análisis de la enseñanza habitual. De esta forma se tiene una buena oportunidad de percibir problemas y cuestionar el pensamiento docente de sentido común (García Barros, Mondelo Alonso, & Martínez Losada, 1996).

Como se ha señalado anteriormente el estudio del universo en la enseñanza secundaria se realiza mediante el análisis de la gravitación, y este a su vez se centra en la operatividad que conlleva la fuerza gravitatoria, tratando en los últimos cursos con el concepto de interacción gravitatoria, campo gravitatorio, intensidad de campo y el estudio energético de éste.

Este acercamiento al cosmos suele dejar de lado la importancia que tuvo el establecimiento de la Ley de la Gravitación Universal como superación de la barrera cielo-tierra, explicación dinámica de los movimientos planetarios, culminación de toda una serie de intentos de explicar el lugar de la Tierra en el universo y nacimiento de la ciencia moderna.

Dentro de la astronomía se encuentra uno de los cambios de paradigma en la historia de la ciencia, la Revolución Copernicana. Se inicia con Nicolás Copérnico y finaliza con Isaac Newton, y su primer paso fue desechar el modelo geocéntrico a favor del modelo heliocéntrico. Este paso de un modelo a otro, brinda la oportunidad de poner en contacto a los estudiantes con la forma de trabajar de los científicos, que construyen un modelo que resuelve problemas pero plantea otros, o es incapaz de resolver nuevos, obligando a dejarlo atrás y elaborar otro modelo que englobe al anterior y solventa las nuevas situaciones problemáticas (Gil & Solbes, 1993). Este estudio de los modelos es, para la didáctica de las ciencias, una importante herramienta con la que trabajar (Harrison & Treagust, 2000). Pese a

insistir en el cambio de modelos, no conviene quedarse en la idea dominante de presentar la historia de la ciencia como un proceso lineal, en el que una idea más precisa sucede a las anteriores, dado que esta visión no muestra las dificultades, dudas y retrocesos del pensamiento individual (Lanciano, 1989). Lanciano afirma en su artículo que, con estudiantes, *“este supuesto paso del sistema Tolemaico al Copernicano es ficticio”*, y que ambos modelos pueden convivir sin necesidad de elegir uno u otro para una referirse a la misma realidad. La utilización de un modelo debe pues, considerarse como una construcción conceptual sobre un determinado fenómeno, y convertirse en un instrumento de diálogo con la realidad sin pretensiones más elevadas (Camino, 2004).

Si los estudiantes de secundaria no sostienen hoy el modelo geocéntrico, ya que conocen los movimientos de la Tierra, así como la estructura del sistema solar, sí poseen, concepciones que les hacen pensar que la explicación del movimiento de los cuerpos en la Tierra y sus proximidades es distinta a la de los cuerpos muy alejados de ella (Lanciano, 1989). Conviene, por lo tanto, hacer que vayan saliendo a la luz esas concepciones. Tampoco son capaces de usar pruebas y argumentos a favor de la esfericidad de la Tierra o la centralidad del Sol. En consecuencia, el alumnado *acepta* estas proposiciones por la *autoridad* del profesorado, del libro de texto y, de la misma forma, las olvida.

Además, la astronomía es una ciencia observacional y no tener en cuenta esta característica puede llevar a ofrecer una visión deformada de esta, enseñando un conocimiento acabado que ha necesitado de grandes medios para llevarse a cabo. Los libros de texto no contribuyen a una mejora de esta situación, no solo no ofrecen actividades relacionadas con la observación, además presuponen que el

estudiante no ha realizado nunca una observación espontánea, en la que genere sus propias ideas sobre mundo que le rodea (Lanciano, 1989).

La observación astronómica constituye una buena oportunidad para conocer algún instrumento astronómico sencillo, por ejemplo el planisferio celeste. Es recomendable que el uso del planisferio se realice cuando el estudiante esté preparado no solo para manejarlo, sino para entender lo que representa (Grup Astre, 1998). El planisferio representa la parte de la esfera celeste que se puede ver desde el lugar, o dicho con otras palabras, la intersección del horizonte del lugar con la esfera celeste. Esta representación varía con la latitud del lugar de observación, por eso se hace necesario un planisferio distinto para cada latitud. La circunferencia exterior nos permite corregir la rotación de la Tierra alrededor del Sol (poco de un día para otro) y sobre su propio eje (poco de una hora a otra).

La bóveda celeste se encuentra representada con la semiesfera que aparece en la Figura 2. El cenit es el punto que se encuentra justo encima del observador, y si este se coloca mirando al norte solo observa la mitad de la bóveda celeste desde el horizonte hasta el primer vertical.

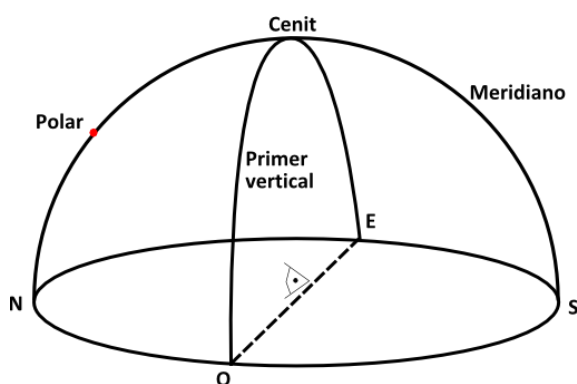


Figura 2. Puntos de la esfera celeste

La imagen que se observa en el planisferio es la que muestra el semicírculo de visibilidad que aparece en la Figura 3.

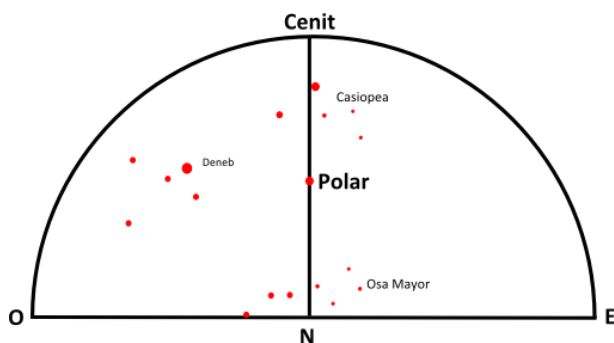


Figura 3. Representación de la bóveda celeste en un semicírculo de visibilidad

En astronomía, y en general en ciencia, el papel de la mujer no queda explicitado, debido en parte a la tradicional falta de acceso de las mujeres a la educación científica, pero no solo eso, la permanencia del apellido como único identificativo a la hora de firmar trabajos, un sistema educativo que no resalta sus contribuciones, etc. (Sahuquillo, Jiménez-Aleixandre, Domingo, & Álvarez, 1993; Solbes, Montserrat, & Furió, 2007). Otro tipo de sesgo diferente al de género, corre el peligro de extenderse en el alumnado, y es pensar que no existe ciencia más allá de la realizada en nuestra cultura europea. Así, el eurocentrismo, puede aparecer de no realizar un tratamiento histórico adecuado (Solbes & Traver, 1996).

Otra dificultad es debida a que no comprenden las conexiones de la ciencia (en nuestro caso la astronomía) con la tecnología y la sociedad (Solbes & Vilches, 1997). Por eso, no tienen claro el papel de la astronomía en la orientación, agricultura, etc., o ven la astronomía como alejada de una utilidad práctica como podría ser el lanzamiento de satélites

Una dificultad añadida al estudio de la astronomía son las escalas que entran en juego, tanto espaciales como temporales (Solbes J. , Marco, Tarín, & Traver, 2010a). Es difícil que el alumnado comprenda y, en consecuencia, pueda aprender, proposiciones difíciles de entender por el ser humano, ya que implican dimensiones (como el radio del sistema solar, de la galaxia o del universo observable) y tiempos (la vida de la Tierra es de 4500 millones de años) que superan con mucho la escala humana (1,7 m y 75 años). Este problema se ve incrementado porque la mayoría de los textos introducen dichas escalas de forma incorrecta, siendo las representaciones correctas y los ejercicios de escala muy escasos (Cardenete, 2009; Causeret, Fouquet, & Sarrazin-Vilas, 2008; García, 1986).

Por otra parte, esas escalas temporales tan alejadas de la humana pueden generar en el alumno la misma sensación de inmutabilidad en el tiempo que los científicos tuvieron en otra época. Esto, ligado a conceptos físicos no muy trabajados a ese nivel (reacciones nucleares, efecto doppler, etc.), pueden evitar que el alumno comprenda hechos como la vida y muerte de las estrellas, el alejamiento de las galaxias, el nacimiento del universo, la expansión acelerada, etc.

No fundamentar con pruebas las afirmaciones puede llevar al estudiante a aceptar las proposiciones del poder establecido, y no plantearse ninguna cuestión al respecto. La astronomía es una ciencia ligada desde su nacimiento a la astrología, una creencia que la acompañó durante muchos siglos e incluso le robó el nombre. Esta relación, aunque desechada por la ciencia, todavía pervive en medios de comunicación y en el imaginario de algunas corrientes de pensamiento. Sin duda esto genera confusión en el alumnado, que de entrada y sin pensar de forma crítica, se plantea si son o no la misma cosa (Solbes J. , 2013).

A modo de recapitulación de lo expuesto en los apartados de fundamentación histórica y didáctica, se muestra en la Tabla 5 un resumen de los objetivos de la enseñanza de la astronomía y las dificultades con las que pueden encontrarse los estudiantes al abordarlos.

OBJETIVOS	DIFICULTADES
1. Comprender aplicaciones básicas de la astronomía y su importancia para la supervivencia de la especie.	1. No tienen claro el papel de la astronomía en la orientación, agricultura, etc., porque en las sociedades avanzadas se vive al margen de la naturaleza.
2. Familiarizar con los métodos de trabajo de la astronomía de observación visual (observaciones diurnas y nocturnas, gnomon, etc.).	2. Desconocen los procedimientos implicados y, además, la mayoría de la población que vive en ciudades, no puede disfrutar el cielo nocturno.
3. Explicar observaciones del sistema Tierra-Sol-Luna (las estaciones, las fases de la Luna y las horas en las que se observa, etc.).	3. Atribuyen las estaciones a la distancia Tierra-Sol y las fases a eclipses de la Luna, y no tienen claro como pasar del Sistema de Referencia en que se representan las posiciones de la Luna al SR en que se realizan las observaciones.
4. Familiarizar a los alumnos con los procedimientos de los científicos, que elaboran modelos para explicar los problemas hasta que surgen dificultades que obligan a cambiarlos, en este caso, el geocéntrico, heliocéntrico, newtoniano, etc.	4. No comprenden que algunos enunciados solo cobran sentido en un determinado modelo ni los grandes avances que suponen (la gravitación universal rompe la barrera cielos tierra, el heliocentrismo que la Tierra no es un SR privilegiado, etc.).
5. Modelizar el sistema solar a escala.	5. Supera con mucho la escala humana y, en prácticamente ningún sitio existen representaciones adecuadas.
6. Comprender, a partir de observaciones, que vivimos en una Galaxia y su forma aproximada.	6. No tienen claro que la Vía láctea es el plano de la Galaxia.
7. Valorar la importancia de la técnica para el desarrollo de la astronomía y viceversa.	7. No ven las conexiones de la astronomía con la tecnología y la sociedad.

8. Comprendan que hay diversos tipos de estrellas, que evolucionan y que juegan un importante papel en la vida en el universo.	8. Concepción estática y no evolutiva de las mismas, debido a las grandes escalas temporales implicadas.
9. Comprender la teoría del Big Bang y las pruebas de la misma, así como que requiere refinamientos para explicar nuevas observaciones.	9. No ven que el Big Bang creó el espacio y no tuvo lugar en él.
10. Comprender que el universo está formado por miles de millones de galaxias, ninguna de las cuales ocupa un lugar central, a gran escala es homogéneo e isótropo.	10. Superan con mucho la escala humana.
11. Valorar la contribución de la astronomía al pensamiento crítico.	11. No ser conscientes de que las verdades científicas tienen que luchar contra los poderes y concepciones establecidos y que muchos enunciados supuestamente científicos no se pueden probar (astrología, ovni, etc.)

Tabla 5. Objetivos y dificultades en la enseñanza de la astronomía

2.3.3 Propuestas de enseñanza que facilitan el aprendizaje de los estudiantes

Una enseñanza que solo tenga en cuenta las características del método científico, o solamente las ideas previas de los alumnos, estará falta de una parte importante de la misma. Es necesario atender a todas las dificultades de aprendizaje que se han señalado en el apartado anterior.

Teniendo en cuenta estas dificultades, tanto genéricas como específicas de la astronomía, puede construirse una propuesta para el tema enmarcada en un modelo de enseñanza que, como indica Solbes (2009), cumpla con la enseñanza desde un punto de vista histórico, de los intereses sociales y educativos, y que tenga en cuenta las concepciones, habilidades e intereses de los estudiantes para diseñar el ambiente de aprendizaje.

En lugar de centrarse únicamente en el modelo de cambio conceptual, que dirige sus esfuerzos a tomar conceptos de los cuáles los alumnos tengan ideas alternativas, los saca a la luz, los cuestiona y propone otros conceptos aceptados científicamente, se toma como modelo la enseñanza-aprendizaje como investigación. En él se busca el cambio conceptual desde todos los ámbitos del trabajo: introducción de conceptos, problemas de lápiz y papel y por supuesto, trabajos prácticos (Gil, Carrascosa, Furió, & Martínez-Torregrosa, 1991). Este acercamiento al método científico huye de la simplificación algorítmica del método científico y permite la introducción de nuevos conceptos mediante la generalización de anteriores o la deducción de leyes a partir de sus principios. Esta forma de proceder también contiene las dimensiones axiológicas, puesto que maneja las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad al plantear el problema a partir de una situación inicial de interés, en las perspectivas posibles etc. (Solbes & Vilches, 1997)

Con el objetivo de fomentar la participación en clase se distribuyen los alumnos en pequeños grupos, a los que se plantearán las actividades para la posterior puesta en común con el resto de la clase y el profesor, que reformulará y/o ampliará la información. Esta estructuración de la sesión desplaza parte del peso de la clase del profesor al alumno, y aunque el primero ordena y aclara conceptos y procedimientos, es el segundo el que construye el conocimiento a partir de la emisión de hipótesis, realizando diseños, etc.

Otro de los modelos señalados por Solbes (2009) es el de enseñanza/aprendizaje como integración jerárquica de modelos explicativos (Pozo & Gómez, 1998; Gómez, Pozo, & Gutiérrez, 2004). Según los autores de este modelo “el alumno no puede enfrentarse a los mismos problemas que en su día

intentaron resolver los científicos, ya que los aborda en un contexto diferente” y “tampoco el profesor puede equipararse a un director de investigaciones, ya que su función social es muy diferente a la de un científico, pues no tienen que producir conocimientos nuevos ni afrontar problemas nuevos sino ayudar a sus alumnos a reconstruir el conocimiento científico” (Pozo & Gómez, 1998). Así, proponen una enseñanza del aprendizaje en la que los nuevos modelos mentales adquiridos, al comprobar que explican más cosas que los anteriores, salen victoriosos en su forma de entender el mundo. Como recuerda Solbes (2009), este modelo recuerda mucho a la transmisión de conocimientos de Ausubel, puesto que es el profesor el encargado de proporcionar los conocimientos, explicando y guiando la contrastación de modelos.

Otro modelo es el conocido como de reconstrucción educativa (Duit, Gronpingieber, & Kattmann, 2005), que trata de establecer una relación entre la investigación de secuencias de enseñanza y el desarrollo del aprendizaje en determinados contenidos. Las investigaciones se dirigen a integrar las tres componentes del modelo: El análisis y clarificación de los contenidos científicos a enseñar desde los puntos de vista históricos, de intereses sociales y educativos; la concreción de las concepciones, habilidades e intereses de los estudiantes; y por último el diseño de los ambientes de aprendizaje.

Los tres modelos señalados no tienen por qué ser excluyentes, al igual que no lo son las diferentes metodologías empleadas por los mejores profesores universitarios (Bain, 2006). Esta analogía establecida por Solbes (2009) muestra que tanto unas como otros, tratan de establecer un entorno de aprendizaje crítico natural. En esa situación el estudiante aprende a cuestionar ideas preestablecidas

pensar de forma crítica, y lo hace de forma natural, puesto que actividades y tareas le resultan interesantes en sí mismas.

2.3.4 Propuestas de enseñanza que facilitan el aprendizaje de la astronomía

En resumen, la comprensión de la astronomía requiere tiempo de trabajo de los estudiantes. Antes se disponía de la asignatura optativa de Astronomía (con 2 horas semanales en la ESO), pero la administración educativa valenciana decidió suprimirla, a pesar de que el alumnado la elegía allí donde se ofertaba y pese a que existían buenas propuestas y manuales sobre el tema (Grup Astre, 1998; Bella, Casasus, Cebrián, Domenech, & Domenech, 1989a; Osuna, Trives, Molina, de la Rosa, & Sogorb, 1998). También pueden encontrarse algunas propuestas metodológicas en (Fernández Uría & Morales Lamuela, 1984) Con lo cual, en la actualidad solo se dispone del escaso tiempo que establece el currículo oficial en las asignaturas de la ESO y bachillerato antes mencionadas. Pero la mayoría de los textos de Ciencias de la Naturaleza de 1º de ESO y de Ciencias para el Mundo Contemporáneo responde a un criterio meramente cronológico. Empieza con lo más antiguo y grande, el universo y su origen, para pasar a las galaxias, el sistema solar y el sistema Tierra Luna, es decir, a lo más próximo y reciente.

Para superar las dificultades se ha elaborado una propuesta para el tema Nuestro lugar en el universo de Ciencias para el Mundo Contemporáneo.

A nivel conceptual esta propuesta aprovecha los acontecimientos históricos para una mayor comprensión de los conocimientos científicos, considerando los problemas planteados que llevaron a la construcción de dichos conocimientos, abordando las dificultades científicas e ideológicas con las que, a lo largo de muchos años, numerosos científicos tuvieron que enfrentarse. Este acercamiento histórico parte de la astronomía de los pueblos antiguos, cuyo carácter práctico

(también religioso) ayuda al estudiante a valorar las relaciones de esta con la sociedad del momento. Esta visión práctica de la astronomía enseña al estudiante la necesidad de realizar observaciones, y de hacer a estas cada vez más precisas. Estas observaciones son las que hicieron posible el cambio de modelo, ya que aportaron las pruebas necesarias y fueron capaces de derrocar, no sin esfuerzo, a los dogmas establecidos. De este modo el estudio de la evolución de los modelos acerca de la estructura del universo representa para los estudiantes un verdadero enriquecimiento, que no tiene lugar cuando nos limitamos a transmitir los conocimientos actualmente aceptados.

Esta línea de trabajo, siguiendo la evolución histórica de la astronomía, permite comprender el modelo anterior y las causas de su caída. Y lo que es mejor, generan en el estudiante una pregunta inmediata: ¿Cuál es el modelo actual? Con la pregunta anterior nos metemos de lleno en conceptos muy novedosos para el estudiante de este nivel, que implican una ciencia relativamente reciente sobre la que se realizan descubrimientos actualmente.

El nacimiento, vida y muerte de una estrella, además de luchar contra la idea de un universo tranquilo que puede darse al observar un cielo estrellado, muestra al estudiante la génesis de los elementos más pesados. Esto se consigue con explicaciones, a nivel divulgativo, de los procesos nucleares en el interior de las estrellas, de imágenes obtenidas por los más potentes telescopios actuales de regiones de formación o restos de muertes de estrellas, etc.

Siguiendo con la pregunta sobre el modelo actual, aparece la cosmología, una rama desgajada de la astronomía con las primeras evidencias de que el Sol era uno más entre otros de un sistema estelar (la galaxia). Las primeras mediciones de Hubble y la idea de átomo primitivo de Lemaître, ponen en marcha el modelo del

Big Bang. Los estudiantes llegan a comprender la necesidad de la evidencia científica en la aceptación de los modelos, cuando el Big Bang aparece reforzado con algunas de sus pruebas, y mantienen la idea de una ciencia en constante evolución al tratar, aunque superficialmente, conceptos todavía controvertidos como la materia y energía oscuras.

A nivel procedimental, la propuesta realizada contiene algunas actividades de astronomía diurna, nocturna, y realización de actividades de escala:

- Dentro de la astronomía diurna un comienzo habitual para las observaciones es la construcción y utilización de un reloj de Sol (Arribas, 2001). Si bien puede no ser conveniente empezar la observación del Sol mediante el Gnomon, con el objetivo de no dar la espalda al Sol y observarlo directamente, y de poder observar en dos dimensiones un fenómeno que ocurre en tres, su uso está justificado para realizar algunas medidas (Grup Astre, 1998). El uso de un reloj de sol puede servir para dejar constancia del movimiento aparente de nuestra estrella en el cielo y contribuir a despertar el interés en el estudiante conociendo uno de los primeros instrumentos astronómicos (Pérez Ortiz, 2006). Además del gnomon, el desarrollo de la astronomía ha dejado una serie de instrumentos que pueden resultar muy útiles a la hora de realizar observaciones y motivar al alumnado con algo que puedan tocar (Ten & Monrós, 1984; Ten & Monrós, 1985; García, 1986).

Pero el Sol no solo nos ofrece sus sombras, otra de las observaciones que pueden realizarse es la de las manchas solares, que a pesar de las precauciones que deben tomarse (McDonald, 2008) tiene gran importancia histórica, dado el papel jugado con su descubrimiento por Galileo para

derrocar la imagen de perfección que se tenía de los objetos celestes (Galileo, 1994).

Con el objetivo de suprimir la creencia de que el único astro visible por el día es el Sol, pueden realizarse observaciones diurnas de Venus y la Luna, esta última asociada a la noche tanto por alumnos como por profesores (Vega Navarro, 2001), que además ayudarán a comprender el fenómeno de las fases lunares.

- Tampoco conviene dejar pasar la oportunidad de realizar alguna observación nocturna, en la que se tenga la oportunidad de manejar el planisferio. Esto se hace pocas veces, especialmente con el cielo nocturno, porque no es observable en las ciudades y menos en horario escolar. Esta es una buena oportunidad para mostrar las relaciones CTS (ciencia, tecnología, sociedad), reflexionar sobre la gran contaminación atmosférica y lumínica (que, a su vez, implican un elevado consumo energético) e incluso buscar soluciones al respecto (Zuza & Alduncin, 2009), que nos priva de ese elemento maravilloso del paisaje, el cielo estrellado, que durante miles de años ha disfrutado la humanidad. Dichas observaciones, por otra parte, resultan de gran interés a los estudiantes cuando las realizan.
- El uso de modelos a escala contribuye a que el alumnado establezca una analogía con la realidad (Oliva-Martínez & Aragón-Méndez, 2009), y forme su representación mental de las dimensiones del sistema estudiado (sistema solar, galaxia, universo) a partir de algo conocido (esferas, mapas de su ciudad, etc.). Las representaciones a escala del sistema solar son las más explotadas, con el problema de tener que elegir dos escalas diferentes para tamaños y distancias si se quiere ver el conjunto como un todo sin

utilizar unas dimensiones excesivas. A pesar de la dificultad que entraña, conviene realizar escalas de mayor envergadura, en la que pueda mostrarse el tamaño de la galaxia, de distancias entre galaxias o del propio universo (Saballs, 2004).

A nivel axiológico se muestra la influencia que la visión del cosmos que la ciencia ofrece tiene en la sociedad y la forma de vida actuales, y es que la actividad científica no es ajena al transcurso de la historia, desarrollándose ambas conjuntamente (Acevedo, Vázquez, & Manassero, 2003; Acevedo & Acevedo, 2002; Solbes & Vilches, 1995; Membiela, 2002). Son mayoría los libros de texto que muestran una imagen de la ciencia desconectada de los matices culturales de la sociedad donde esta ciencia se genera, quedando en muchas ocasiones oculta la forma de trabajar en ciencia (Vilches, Gil, & Solbes, 2001). En otros materiales sí aparecen este tipo de contenidos (Solbes J. , Marco, Tarín, & Traver, 2010a), buscando temas de actualidad y aspectos culturales. Entre otras, pueden tratarse algunas de las aplicaciones clásicas de la astronomía, aplicaciones más modernas, o destacarse el papel de la mujer en la astronomía, cuestionar el eurocentrismo y fomentar el espíritu crítico:

- Puede destacarse el papel de las mujeres en el desarrollo de la astronomía, desde la última directora de la biblioteca de Alejandría, Hypatia (355 a 370? - 415 a 416?) (Sagan, 2004), hasta las mujeres que examinaban placas fotográficas en Harvard a finales del siglo XIX y que realizaron importantes contribuciones a la astronomía de la época (The New York Times, 1921). En este campo puede destacarse a Maria Mitchell (1818-1889), la primera profesora de astronomía en EE.UU y primera en descubrir un cometa; Williamina Fleming (1857-1911), que descubrió siete novas; Henrietta S.

Leavitt (1868-1921), que descubrió la variación del período de las estrellas variables con la luminosidad, lo cual permitió determinar las distancias a las galaxias; Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979), que determinó la composición de las atmósferas estelares (Solbes J. , 2002; Sánchez Ron J. , 2006) o el descubrimiento de los púlsares por Hewish (1924) y Jocellyn Bell (1943), por el que le dieron el premio Nobel al primero (1974), pero no a la segunda. (Solbes, Montserrat, & Furió, 2007)

- Desde el punto de vista histórico, la enseñanza de la astronomía puede ayudar a que el estudiante cuestione el eurocentrismo, señalando la existencia de avances astronómicos de otras culturas en tanto que la ciencia europea permanecía estancada. Siguiendo con este hilo, el estudio de la astronomía permite entrar a valorar el conflicto que supuso la creación de una nueva ciencia, en completo desacuerdo con la física aristotélica que tan bien casaba con los intereses religiosos de la época.
- Quizás una de las aplicaciones de más influencia en la vida actual que conviene remarcar cuando se estudia astronomía, es el lanzamiento de satélites artificiales. La posibilidad de situar objetos en órbita ya fue considerada por Newton al menos de forma implícita (Solbes J. , Marco, Tarín, & Traver, 2010a), y Julio Verne imaginó el lanzamiento de cohetes tripulados en dos de sus novelas *De la Tierra a la Luna* (1865) y *Alrededor de la Luna* (1870) (Navarro J. , 2005).
- La astronomía también puede ayudar a fomentar el pensamiento crítico y desechar supersticiones, eliminando relaciones causa-efecto de dónde no debería haberlas. Así, (Jímenez-Aleixandre, 2010) afirma que pensamiento crítico “es la capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la sociedad y participar en

ella”, señalando que tiene componentes de argumentación, como la búsqueda y uso de pruebas y cuestionar la autoridad, y emancipatorios, como la opinión independiente y el análisis crítico de discursos legitimadores. Por otra parte, un científico como (Smolin, 2007), señala que el público no debe creer todo lo que oiga y pedir pruebas de esos enunciados. Nuestra sociedad del conocimiento y el avance tecnológico, todavía sigue publicando el horóscopo en prácticamente toda la prensa escrita y emitiendo programas sobre astrología y otras credulidades. La parte positiva es que la astrología es una de las ilusiones que puede ser más fácilmente examinadas, pudiendo realizar sencillas experiencias que demuestren que no funciona (Randi, 1994).

- Además, permite comprender que no todo existe para nosotros (los seres humanos o, lo que aún es peor, las actuales generaciones), que existía antes que el ser humano hiciese su aparición sobre la Tierra y que continuará existiendo cuando no estemos aquí. O aplicado a las actuales generaciones, nos permite comprender que no tenemos derecho a explotar el mundo (agotando sus recursos y destruyendo el medio ambiente), prescindiendo de las generaciones futuras. Esto nos da una buena idea de nuestro lugar en el universo.

Con el programa diseñado se pretende que el estudiante tome parte en la revolución que supuso el paso de los viejos sistemas geocéntricos a la visión actual del universo. En esta participación activa el estudiante descubre aspectos fundamentales del trabajo científico (Roca Cortés, 2009), dejados de lado en multitud de ocasiones en el estudio de asignaturas científicas, y de paso le sirve como elemento motivador al caer en la cuenta del desafío apasionante que supone

la ciencia. Y es que, en palabras de Carl Sagan, “la ciencia es mucho más una determinada manera de pensar que un cuerpo de conocimientos” (Sagan, 2004).

3. DISEÑOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS

Pondremos a prueba la primera hipótesis mediante una serie de diseños experimentales. Para analizar cómo se enseña la astronomía utilizamos una red de análisis de textos y un cuestionario de profesores, y para investigar las dificultades de aprendizaje un cuestionario para estudiantes. A partir de ellos se obtendrán unos resultados que, analizados detenidamente, nos permitirán extraer conclusiones que nos ayudarán a comprobar esta hipótesis.

El cuestionario para el análisis cuantitativo de textos consta de 15 ítems, alguno de los cuales se subdivide en apartados, el cuestionario dirigido a explorar a los profesores en activo consta de 6 ítems, y por último, el cuestionario para analizar el aprendizaje del alumnado de 1º de bachillerato (16 años) consta de 12 ítems.

Los ítems de los cuestionarios de textos y estudiantes, relacionados con los objetivos y dificultades presentados en la Tabla 5, se presentan en los siguientes apartados. Los ítems de los estudiantes se centran en aspectos muy básicos, por eso, hay algún objetivo sin su correspondiente ítem de alumno.

Se ha buscado la coherencia interna de los ítems con los objetivos y las dificultades por la revisión de pares expertos y por la existencia de ítems similares vinculados a un mismo objetivo. A continuación, se realiza un ensayo piloto para analizar la validez del cuestionario, se reelabora el cuestionario a la luz de los resultados del dicho ensayo y se calcula el estadístico alfa de Cronbach para comprobar la fiabilidad del cuestionario.

3.1 Diseño de la red de análisis de textos

3.1.1 Red de análisis de textos

El cuestionario para el análisis cualitativo de los textos, se ha aplicado a 14 libros de texto de *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*, que incluyen los libros utilizados por los grupos de estudiantes a los que se ha pasado el cuestionario y otros, con el fin de tener una muestra significativa constituida por la mayor parte de los libros publicados, 11 de las principales editoriales de libros de texto de nuestro país y, además, 3 libros innovadores, publicados por una universidad y otros dos digitales por instituciones oficiales. Dichos libros son un buen indicador de la enseñanza realizada, ya que son utilizados por la mayor parte del profesorado y son los intérpretes del currículo.

El cuestionario realizado a los libros es amplio. En él, se plantean cuestiones relacionadas con la astronomía de posición básica y el desarrollo histórico hasta llegar a los modelos actuales, que son los contenidos señalados en el currículo oficial para este tema concreto. La Tabla 6 muestra la red de análisis de textos empleada:

ÍTEM	PREGUNTA	RESPUESTAS						COMENTARIOS
1.1	¿Qué porcentaje de páginas se dedica a la astronomía?	Porcentaje						
1.2	¿Qué apartados incluye?							Enumeración de apartados
2.1	¿Aparecen las aplicaciones básicas de la astronomía?	Sí		No				
2.2	¿Se hace mención de la astronomía como vehículo para la supervivencia de la especie a largo plazo?	Sí		No				
3	¿Se plantea alguna actividad relacionada con la observación?	0	1	2	3	4	5	
4	¿Se explican las observaciones a partir del modelo de Ptolomeo?	Sí		No				

5	¿Se explican las fases de la Luna?	Sí	No	
6	¿Aparecen las dificultades que surgieron al adoptar el modelo heliocéntrico?	Sí	No	
7	¿Se explicita la ruptura de la barrera cielos-tierra al hablar de la teoría de la gravitación universal?	Sí	No	
8	¿Se llega al concepto de galaxia a partir de las observaciones de la vía láctea?	Sí	No	
9.1	¿Se proponen actividades para modelizar el sistema solar a escala?	Sí	No	
9.2	¿Existe algún dibujo que muestre a escala las distancias del sistema solar?	Sí	No	
9.3	¿Aparece algún dibujo que muestre a escala las distancias del sistema solar?	Sí	No	
10.1	¿Aparecen las relaciones de la astronomía con la tecnología?	Sí	No	
10.2	¿Se muestra cómo el desarrollo de la técnica en la astronomía ha revertido en la sociedad?	Sí	No	
11.1	¿Se explica la evolución estelar?	Sí	No	
11.2	¿Se explica cómo las estrellas son capaces de sintetizar los elementos más pesados?	Sí	No	
12.1	¿La teoría del Big Bang aparece reforzada con las pruebas?	Sí	No	
12.2	¿Se explicita con claridad que el espacio se crea en el Big Bang?	Sí	No	
12.3	¿Se explica de donde sale la idea de la energía oscura?	Sí	No	
13.1	¿Queda bien explicado que el corrimiento al rojo es debido a la expansión del espacio?	Sí	No	
13.2	¿Se deja claro el concepto de radio del universo observable?	Sí	No	
14.1	¿Se menciona el que el universo está formado por miles de millones de galaxias, ninguno de los cuales ocupa un lugar central, siendo homogéneo e	Sí	No	

	isótropo a gran escala?			
14.2	¿Existen figuras que muestren las escalas de las distintas estructuras del universo?	Sí	No	
15.1	¿Se descarta la astrología como ciencia?	Sí	No	
15.2	¿Se cuestiona la ufología?	Sí	No	

Tabla 6. Red de análisis de textos

3.1.2 Criterios de valoración de la red de análisis de textos.

A continuación se presentan los criterios que se han seguido para la valoración de los ítems empleados en el análisis de textos.

➤ Ítem 1.1: ¿Qué porcentaje de páginas se dedica a la astronomía?

Para comenzar se realiza un porcentaje de las páginas que aparecen en el texto dedicadas al tema de la astronomía. En aquellos libros en los que el tema de astronomía comparte título con el tema de tectónica de placas, se han descontado las páginas correspondientes a este último.

➤ Ítem 1.2: ¿Qué apartados incluye?

En este ítem se nombran los apartados del tema con el objetivo de comprender que tipo de aproximación al tema se ha tomado en el texto. Estas aproximaciones pueden darse desde un punto de vista cronológico de la edad del universo, desde el tamaño de los objetos considerados (de mayor con el universo a menor con la Tierra, o viceversa) o cronológico respecto a la historia de la Ciencia.

➤ Ítem 2.1: ¿Aparecen las aplicaciones básicas de la astronomía?

Se busca en los textos alguna mención a las aplicaciones que hicieron de la Astronomía la primera ciencia en aparecer. Estas aplicaciones, a las que denominamos básicas, comprenden:

- La orientación, tanto para viajar como en la construcción de edificios.
- La medida del tiempo y construcción de calendarios.
- La agricultura y caza.

➤ **Ítem 2.2: ¿Se hace mención de la astronomía como vehículo de supervivencia de la especie a largo plazo?**

Se examinan los textos buscando alusiones a la contribución de la astronomía a la supervivencia a largo plazo de la especie humana. Estas alusiones pueden darse en forma de:

- Detección prematura de objetos próximos a la Tierra.
- Exploración del sistema solar y búsqueda de recursos minerales en otros cuerpos.
- Posibilidad de extender la especie humana a otros sistemas estelares mediante viajes interestelares.

➤ **Ítem 3: ¿Se plantea alguna actividad relacionada con la observación?**

Dado el carácter práctico de la astronomía, se incluye este ítem con el que se pretende localizar aquellos textos que remarcan este aspecto. Las actividades de observación pueden pertenecer a cualquiera de las siguientes:

- Contemplación del firmamento por estética.
- Astronomía diurna (Gnomon, orientación, eclipses solares, manchas solares, tránsitos planetas interiores, etc.).
- Astronomía nocturna (Constelaciones, orientación, estrellas, planetaria, lunar, Vía Láctea, espacio profundo, etc.)

➤ **Ítem 4: ¿Se explican las observaciones a partir del modelo de Ptolomeo?**

Con esta cuestión se pretende localizar en los textos la explicación algunas observaciones mediante el modelo ptolemaico:

- Sol, Luna, planetas y estrellas giran alrededor de la Tierra.
- Movimiento de retrogradación de los planetas exteriores.

➤ **Ítem 5.1: ¿Se explican las fases de la luna?**

Las posiciones relativas del sistema Tierra-Sol-Luna es un tema ampliamente tratado en la investigación didáctica. Con esta cuestión se trata de ver si los textos hacen alguna mención a la explicación de las fases de la Luna, bien sea de palabra, bien mediante un dibujo.

➤ **Ítem 6: ¿Aparecen las dificultades que surgieron al adoptar el modelo heliocéntrico?**

El cambio de paradigma astronómico que supuso el abandono del modelo geocéntrico, vigente durante casi 20 siglos no estuvo exento de dificultades. Esta cuestión trata de poner en relieve, la importancia que cada texto ha dedicado a la oposición que sufrió la ciencia al enfrentarse a las concepciones del universo de feudo y clero, cuyos dogmas defendían la jerarquización así en la Tierra como en los cielos.

- La condena a Giordano Bruno por defender la existencia de muchos mundos parecidos al nuestro.
- El juicio a Galileo por sus afirmaciones sobre el orden del sistema solar, desplazando a la Tierra por primera vez del centro del universo.
- La reticencia a aceptar la imperfección de los objetos celestes, tanto en movimiento como en forma.

➤ **Ítem 7: ¿Se explicita la ruptura de la barrera cielos-tierra al hablar de la teoría de la gravitación universal?**

Dada la importancia en la historia de la física de las unificaciones de teorías en principio desconectadas, se intenta averiguar en esta cuestión si la primera de estas grandes unificaciones, la visión de conjunto de la mecánica celeste y de la mecánica terrestre que surgió a partir de la teoría de Newton, aparece en alguno de los textos.

➤ **Ítem 8: ¿Se llega al concepto de galaxia a partir de las observaciones de la Vía Láctea?**

Desde las primeras veces que se enseña astronomía, se explica cómo el sistema solar es uno de los muchos sistemas estelares que pueblan nuestra galaxia, la Vía Láctea. Sin embargo no hay que olvidar que la astronomía es una ciencia observacional, y que cuando se realiza una afirmación, esta debe estar respaldada por los hechos. Se pretende con esta cuestión buscar los textos que tratan de presentar el concepto de galaxia a partir de la observación de una franja lechosa en el cielo, correspondiente al plano de la Vía Láctea.

➤ **Ítem 9.1: ¿Se proponen actividades para modelizar el sistema solar a escala?**

El orden de las distancias típicas en el sistema solar es de 10^{12} m, que comparado con el orden de magnitud de la escala humana, 1 m, hace que sea muy difícil valorar cuan separados están los planetas unos de otros. Con esta cuestión se pretende detectar aquellos textos que son conscientes del problema que supone esta diferencia de órdenes de magnitud, y realizan actividades de escala.

➤ **Ítem 9.2: ¿Existe algún dibujo que muestre a escala los diámetros del sistema solar?**

La relación entre los diámetros de los planetas es igualmente difícil de valorar desde el punto de vista de la escala humana. Esta cuestión busca encontrar en los libros de texto algún dibujo explicativo en el que los planetas se encuentren, dibujados o fotografiados, a escala de diámetros con el fin de poder compararlos entre sí.

➤ **Ítem 9.3: ¿Existe algún dibujo que muestre a escala las distancias del sistema solar?**

Siguiendo la misma línea que las cuestiones anteriores, además de modelizar el sistema solar a escala podría ser conveniente visualizar las distancias en una imagen que guardara las proporciones adecuadas entre estas. Esta cuestión busca este tipo de imágenes en los textos analizados.

➤ **Ítem 10.1: ¿Aparecen las relaciones de la astronomía con la tecnología?**

En el mundo actual, ciencia y tecnología mantienen complicadas relaciones más allá de entender la segunda como aplicación de la primera en la sociedad. Utilizando esta cuestión, se han buscado en los textos algunas de estas relaciones:

- Telescopios de cualquier longitud de onda.
- Satélites, naves espaciales, robots de exploración.
- Instrumentos de orientación como el gnomon, astrolabio, cuadrante, etc.

➤ **Ítem 10.2: ¿Se muestra como el desarrollo de la técnica en la astronomía ha revertido en la sociedad?**

La astronomía, como otras ciencias básicas, tiene que enfrentarse en ocasiones a la pregunta ¿cuál es la utilidad de todo esto? Con esta cuestión se exploran los textos en busca de desarrollos técnicos que la astronomía haya impulsado:

- Aplicaciones basadas en los satélites: Comunicaciones, vigilancia de la biosfera, geolocalización, etc.
- Nuevos materiales desarrollados para su uso en el espacio: Teflón, velcro, policarbonato, etc.
- Nuevas herramientas e instrumentos: Escáneres de rayos X, microondas, códigos de barras, etc.
- Nuevos fármacos que realizan sus pruebas en el espacio.
- ...

➤ **Ítem 11.1: ¿Se explica la evolución estelar?**

Al contemplar el cielo nocturno lo encontramos repleto de puntos que parecen fijos e inmutables, estando esta observación de acuerdo con la imagen aristotélica del universo. A pesar de que habían indicios de que esta inmutabilidad no fuera tal (supernova SN 1054, estrellas fugaces, manchas en el Sol, etc.), no fue hasta el siglo XIX cuando Kelvin y Helmholtz dieron una primera explicación a la fuente de energía de las estrellas, abriendo la puerta a conocer la evolución estelar. Esta cuestión explora los textos que dan cuenta de esta vida de las estrellas, bien sea mediante un texto o esquema, bien con el más complejo diagrama de Hertzsprung-Russell.

➤ **Ítem 11.2: ¿Se explica cómo las estrellas son capaces de sintetizar los elementos más pesados?**

Una de las tres frases que aparecen en el currículo de la asignatura en el correspondiente documento oficial (Tabla 3) es “La génesis de los elementos: polvo de estrellas”. La última parte pertenece a Carl Sagan que expresa, de manera poética y científica, la idea de que el final violento de algunas estrellas es capaz de crear los elementos más pesados que el hierro.

➤ **Ítem 12.1: ¿La teoría del Big Bang aparece reforzada con las pruebas?**

El sonoro nombre de Big Bang, utilizado como chascarrillo por uno de sus detractores, ha conseguido que esta teoría sea conocida, al menos de forma nominal, como la principal en la formación del universo. Las pruebas de la teoría son, sin embargo, menos conocidas. Esta cuestión examina los textos en busca de algunas de estas pruebas:

- Desplazamiento al rojo de la luz de las galaxias
- Radiación de fondo
- Abundancia de los núcleos más ligeros

➤ **Ítem 12.2: ¿Se explicita con claridad que el tiempo se crea en el Big Bang?**

El momento de la gran explosión marca el inicio de la expansión del universo, y aparecen de forma natural dos preguntas: ¿Dónde se expande el universo? ¿Qué había antes de esa explosión? Las respuestas están lejos de la intuición, puesto que la creación del universo implica también la del espacio y el tiempo, haciendo que las preguntas planteadas carezcan de sentido. Este ítem pretende encontrar los libros que sí explicitan esta característica de la teoría del Big Bang.

➤ **Ítem 12.3: ¿Se explica de donde sale la idea de la energía oscura?**

La densidad de materia en el universo puede medirse bien mediante la cantidad de materia que emite luz, bien mediante la cantidad de materia que ejerce influencia gravitatoria. La discrepancia entre estos dos datos originó la idea de la existencia de materia oscura. Además, del estudio de las inhomogeneidades de la radiación cósmica de fondo también puede determinarse esta densidad, obteniendo de nuevo una discrepancia con la suma de los datos obtenidos para la materia brillante (4%) y para la materia oscura (26%). Esta diferencia se explica con la existencia de una llamada energía oscura (70%). Esta cuestión busca los textos que ofrecen esta explicación y no se limitan a valorar estos porcentajes.

➤ **Ítem 13.1: ¿Queda bien explicado que el corrimiento al rojo es debido a la expansión del universo?**

Una de las pruebas de la teoría del Big Bang, es el alejamiento de las galaxias que sugiere el corrimiento al rojo observado en la luz que nos llega de estas. Este corrimiento al rojo es similar al observado debido a la velocidad relativa entre foco y fuente, pero no es el mismo. El corrimiento al rojo cosmológico, es causado por la propia expansión del espacio donde se propagan los fotones, dando como resultado una “expansión” de estos. Esta cuestión examina los textos en busca de esta distinción entre corrimientos al rojo.

➤ **Ítem 13.2: ¿Se deja claro el concepto de universo observable?**

Las últimas medidas de la edad del universo arrojan una edad de 13750 millones de años, si se tiene que el universo se ha expandido desde su comienzo, se obtiene que la distancia recorrida por la luz del objeto más lejano es de 46000 millones de años luz (Davis & Lineweaver, 2004). A esta cifra se la conoce como el radio del universo observable. Este ítem busca en los textos analizados esta

explicación, que aclara que el tamaño del universo no es de 13750 millones de años luz puesto que el espacio se ha expandido desde su comienzo.

- **Ítem 14.1: ¿Se menciona que el universo está formado por miles de millones de galaxias, ninguna de las cuales ocupa un lugar central, siendo homogéneo e isótropo a gran escala?**

Desde que Copérnico iniciara la salida de la Tierra como centro del universo, este alejamiento del hombre como centro se ha producido en varias ocasiones (nuestro Sol como una estrella más, la Vía Láctea como una entre miles de millones de galaxias más, los cúmulos, supercúmulos y hasta las especulaciones más recientes que hablan de más universos). Estas galaxias y estructuras, se distribuyen de forma homogénea e isótropa en el espacio, hipótesis que se conoce como Principio Cosmológico, y que por el momento no ha sido rechazada. Con esta cuestión se buscan los textos que dan cuenta de este número de galaxias y su distribución en el universo.

- **Ítem 14.2: ¿Existen figuras que muestren las escalas de las distintas estructuras del universo?**

Este ítem analiza los textos para encontrar las sucesivas estructuras que aparecen enumeradas en la cuestión 14.1, sistema solar, Vía Láctea, Cúmulo Local, Supercúmulo de Virgo, representadas en una imagen. Con estas imágenes de estructuras cada vez mayores, el alumno puede hacerse una idea de las escalas involucradas en estas estructuras.

- **Ítem 15.1: ¿Se descarta la astrología como ciencia?**

Pese a vivir en una sociedad científica y tecnológica, la constante aparición en medios de comunicación de la astrología puede llegar a confundir al alumnado y al público en general. Esta cuestión trata de descubrir los textos que hacen hincapié en señalar la diferencia entre astronomía y astrología, señalando a esta última como pseudociencia.

➤ **Ítem 15.2: ¿Se cuestiona la ufología?**

La existencia de vida ajena a la Tierra en el universo es una pregunta para la que la ciencia actual no tiene respuesta segura. Desde que Giordano Bruno sugiriera en el siglo XVI la existencia de otros mundos con seres inteligentes, esta posibilidad ha estado presente en el imaginario humano. A partir del desarrollo de la tecnología necesaria para surcar el cielo con misiles balísticos, satélites y naves espaciales, que tuvo lugar en la Guerra Fría, comienzan a aparecer avistamientos de objetos volantes no identificados y nace la ufología. En esta cuestión se repasan los textos buscando aquellos que sitúan a la ufología fuera de la ciencia.

3.2 Diseño del cuestionario de profesores

3.2.1 Cuestionario de profesores

A continuación se presenta el cuestionario de profesores (ver Tabla 7), formado por 6 ítems que exploran la necesidad de enseñar astronomía en el bachillerato, así como métodos, objetivos y dificultades de esta.

ÍTEM	CUESTIÓN
ÍTEM 1	¿Qué contenidos propondrías para desarrollar el tema de Astronomía en Ciencias para el Mundo Contemporáneo de 1º de bachillerato?
ÍTEM 2	¿Es importante enseñar astronomía a toda la población? ¿Por qué?
ÍTEM 3	¿Cuáles crees que son las principales dificultades que pueden tener

	los alumnos a la hora de tratar en clase el tema de astronomía?
ÍTEM 4	¿Qué objetivos importantes pueden servir como indicadores de que el estudiante ha comprendido el tema al cual nos referimos?
ÍTEM 5	¿Qué métodos de enseñanza emplearías para favorecer el aprendizaje de la astronomía?
ÍTEM 6	¿Cómo harías comprender a los alumnos las escalas del sistema solar?

Tabla 7. Red de análisis de profesores

3.2.2 Criterios de valoración de la red de análisis de textos.

Los criterios seguidos para valorar cada una de las respuestas dadas por los docentes aparecen detallados para cada ítem a continuación:

➤ **Ítem 1: ¿Qué contenidos propondrías para desarrollar el tema de Astronomía en Ciencias para el Mundo Contemporáneo de 1º de bachillerato?**

Una respuesta podría incluir los siguientes apartados:

- Antecedentes. Primeras ideas sobre el universo.
- La astronomía y sus aplicaciones
- Del sistema geocéntrico al sistema heliocéntrico
- La síntesis newtoniana
- Imagen actual del universo
- Satélites artificiales y sus aplicaciones

➤ **Ítem 2: ¿Es importante enseñar astronomía a toda la población? ¿Por qué?**

Una respuesta podría incluir los siguientes apartados:

- Ayuda al estudiante a acercarse al modo de proceder en ciencia (modelos, unificaciones, interdisciplinariedad, etc.)
- Contribuye a mostrar las relaciones de la ciencia con la tecnología y la sociedad, tanto las más básicas (siembra, caza, orientación, etc.) como las

más modernas (satélites, cuestiones fundamentales sobre el universo, supervivencia de la especie, etc.)

- Actúa de vía motivadora.
- Para fomentar el pensamiento crítico (astrología, fenómeno ovni, etc.)

➤ **Ítem 3: ¿Cuáles crees que son las principales dificultades que pueden tener los alumnos a la hora de tratar en clase el tema de astronomía?**

- No tienen claras las relaciones de la astronomía con la tecnología y la sociedad (dificultades 1, 7, 11 Tabla 5)
- No están familiarizados con la observación, y eso dificulta entender el sistema Tierra-Sol-Luna, la pertenencia a la vía Láctea, etc. (dificultades 2, 3 y 6 Tabla 5)
- Familiarizarse con los procedimientos científicos es complicado puesto que no comprenden que algunos enunciados solo cobran sentido en un determinado modelo, y en algunos casos suponen grandes avances (la gravitación universal rompe la barrera cielos tierra, el heliocentrismo que la Tierra no es un SR privilegiado, etc.) (dificultad 4 Tabla 5)
- Entran en juego escalas muy alejadas del ser humano (tiempos, distancias, número de objetos, etc.) (dificultades 5 y 10 Tabla 5)
- Concepción estática y no evolutiva de las estrellas, debido a las grandes escalas temporales implicadas. (dificultad 8 Tabla 5)
- No ven que el Big Bang creó el espacio y no tuvo lugar en él. (dificultad 9 Tabla 5)

➤ **Ítem 4: ¿Qué objetivos importantes pueden servir como indicadores de que el estudiante ha comprendido el tema al cual nos referimos?**

- Comprender las aplicaciones de la astronomía, su relación con la tecnología y con la sociedad. (objetivos 1, 7 y 11 Tabla 5)
- Familiarizarse con los métodos de observación (diurna, nocturna) para entender los fenómenos explicados por el sistema Tierra-Sol-Luna y nuestra posición en el universo. (objetivos 2, 3 y 6 Tabla 5)
- Familiarizar a los alumnos con los procedimientos de los científicos, que elaboran modelos para explicar los problemas hasta que surgen dificultades que obligan a cambiarlos, en este caso, el geocéntrico, heliocéntrico, newtoniano, etc. (objetivo 4 Tabla 5)
- Modelizar el sistema solar a escala, y comprender que el universo está formado por miles de millones de galaxias, siendo homogéneo e isótropo a gran escala. (objetivos 5 y 10 Tabla 5)
- Comprendan que hay diversos tipos de estrellas, que evolucionan y que juegan un importante papel en la vida en el universo. (objetivo 8 Tabla 5)
- Comprender la teoría del Big Bang y las pruebas de la misma, así como que requiere refinamientos para explicar nuevas observaciones. (objetivo 9 Tabla 5)

➤ **Ítem 5: ¿Qué métodos de enseñanza emplearías para favorecer el aprendizaje de la astronomía?**

Una respuesta podría incluir algunos de los siguientes apartados, orientados por el modelo socio-constructivista de enseñanza-aprendizaje de las ciencias:

- Cuestionamiento de las ideas alternativas.
- La realización de actividades CTS (aplicaciones, debates sobre astrología y el fenómeno ovni, etc.)

- Iniciación a la investigación en las ciencias (observaciones, experiencias, presentación de resultados, etc.)
- Utilización de recursos (actividades de escala, representaciones 3D, simulaciones, etc.)
- El trabajo en equipo del alumnado (presentación de conceptos, debates, webquest, etc.)

➤ **Ítem 6: ¿Cómo harías comprender a los alumnos las escalas del sistema solar?**

Para entender las enormes distancias que están en juego y sobre todo el enorme espacio vacío existente entre los cuerpos del sistema solar, conviene que realicen comparaciones a escala con distancias conocidas.

Para la escala de tamaño puede proponerse la búsqueda de objetos esféricos con los que representar los cuerpos del sistema solar, o el trazado de círculos a escala, pero esto solo daría una idea comparativa de los diámetros de los planetas.

Para una escala de distancias puede tomarse la distancia más larga del patio del colegio como la distancia del Sol a Neptuno, y a partir de esta escalar las distancias del resto de planetas. Esta actividad da cuenta de la relación entre las distancias en el sistema solar, y añadiendo los objetos esféricos a escala de diámetros, el enorme espacio vacío queda puesto de manifiesto.

3.3 Diseño del cuestionario de alumnos

En la preparación del cuestionario se ha tenido en cuenta las técnicas usuales de investigación educativa. En primer lugar, se elabora un primer borrador en el que se han tenido en cuenta las aportaciones de la investigación en educación científica sobre las dificultades que pueden obstaculizar el logro de los objetivos planteados, así como los ítems utilizados por dicha investigación. En concreto,

nuestro ítem 2 es una versión adaptada del artículo de Scarinci & Lopes de Almeida Pacca (2006); el ítem 4 procede de los artículos de Comins (1993) y Trumper (2001); el ítem 5 está recogido de distinta forma (cuestionarios y entrevistas/dibujos) en los artículos de Trumper (2001) y Trundle, Atwood & Christopher (2007); el ítem 7 aparece en el artículo de Comins (1993); el ítem 8 es una adecuación de los aparecidos en los artículos de Comins (1993) y Trumper (2001) y el ítem 10 está adaptado a partir de los aparecidos en los artículos de Trumper (2001) y Hansson (2006) y de las confusiones cosmológicas señaladas en el artículo Davis & Lineweaver (2004). El hecho de que dichos ítems ya hayan sido utilizados contribuye a su validación. Dichos artículos, que se centran mayoritariamente en cuestiones básicas de la astronomía (estaciones, fases de la luna, etc.), dejan objetivos sin cubrir para los cuales se ha elaborado nuevas cuestiones, en especial, para la astronomía más moderna (astrofísica y cosmología).

3.3.1 Prueba de fiabilidad. Alfa de Cronbach.

Para valorar la consistencia interna del cuestionario se usa el estadístico de fiabilidad alfa de Cronbach en un grupo piloto. En principio esta prueba solo puede realizarse cuando todos los ítems del cuestionario tienen el mismo número de categorías. En el cuestionario que nos ocupa los ítems tienen categorías diferentes, tal y como muestra la Tabla 8, pero estas son compatibles.

Dos categorías 2, 0	Tres categorías 2, 1, 0
Ítem 2	Ítem 1
Ítem 4	Ítem 3
Ítem 5	Ítem 6
Ítem 7	Ítem 9
Ítem 8	Ítem 11
Ítem 10	Ítem 12

Tabla 8. Número de categorías en cada ítem del cuestionario pre y post

Se obtienen las siguientes tablas en SPSS (ver Tabla 9 y Tabla 10):

Resumen del procesamiento de los casos			
		N	%
Casos	Válidos	15	100,0
	Excluidos ^a	0	,0
	Total	15	100,0
a. Eliminación por lista basada en todas las variables del procedimiento.			

Tabla 9. Resumen del procesamiento de los casos en el cálculo del alfa de Cronbach

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,711	12

Tabla 10. Valor del alfa de Cronbach para el cuestionario

El valor de la alfa de Cronbach es $\alpha=0,711$ y por tanto mayor que el valor 0,7 tomado por convenio, lo que indica la consistencia interna del cuestionario.

3.3.2 Cuestionario de alumnos

En la Tabla 11 se encuentran los 12 ítems utilizados en la red de análisis de alumnos:

ÍTEM	CUESTIÓN
ÍTEM 1	Explica cómo te orientarías de noche y de día.
ÍTEM 2	Comenta la frase: "El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste".
ÍTEM 3	Señala aplicaciones que conozcas sobre la astronomía e indica en que

	observaciones se basan.
ÍTEM 4	Cómo podemos determinar astronómicamente las estaciones del año.
ÍTEM 5	Explica las fases de la Luna.
ÍTEM 6	Qué hechos pusieron en cuestión el modelo geocéntrico.
ÍTEM 7	Explica como la observación de la Vía Láctea demuestra que estamos en una galaxia.
ÍTEM 8	Si la distancia del Sol a Neptuno fuera como un campo de fútbol (110 m), ¿qué tamaño crees que tendría la Tierra? ¿y el Sol? ¿y Júpiter?
ÍTEM 9	Cita tecnologías que han contribuido al desarrollo de la astronomía.
ÍTEM 10	Explica con tus propias palabras la expansión del universo.
ÍTEM 11	¿Qué pruebas hay de la expansión del universo?
ÍTEM 12	Comenta la frase: “La astronomía y la astrología son ciencias distintas”

Tabla 11. Red de análisis de alumnos

3.3.3 Criterios de valoración de los ítems del cuestionario de alumnos

Las respuestas a cada una de las cuestiones planteadas en la red de análisis de textos han sido categorizadas en correctas (2), parcialmente correctas (1) e incorrectas (0). Existen 6 cuestiones que poseen solo dos categorías (2 y 0), como son el 2, 4, 5, 7, 8, 10; y otros 6 ítems que poseen tres categorías (2, 1, 0) como el 1, 3, 6, 9, 11, 12.

➤ **Ítem 1: Explica cómo te orientarías de noche y de día.**

- **2:** Correctamente explicado para el día (Sol) y la noche (Luna, estrellas)
- **1:** Solo explica correctamente el día o la noche.
- **0:** Nombra que se ayudaría de la posición de los astros pero no lo explica claramente. No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea

➤ **Ítem 2: Comenta la frase: “El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste”.**

- **2:** Cuando explícitamente nombra que es la Tierra la que gira alrededor del Sol (o hace referencia al movimiento de rotación). Si entiende la frase en el sentido de que el Sol no sale siempre exactamente por el Este.
 - **0:** Cuando no hace referencia a uno de los conceptos anteriores.
- **Ítem 3: Señala aplicaciones que conozcas sobre la astronomía e indica en que observaciones se basan.**
- **2:** Cita correctamente aplicaciones de la astronomía y las explica mediante las observaciones (Orientación: Sol, Estrellas. Agricultura: Tiempo de siembra. Calendario: Posición del Sol y ortos de estrellas. Lanzamiento de satélites: Gravitación universal)
 - **1:** Se limita a citar aplicaciones sin explicar las observaciones en las que se basa.
 - **0:** No nombra ninguna aplicación.
- **Ítem 4: Cómo podemos determinar astronómicamente las estaciones del año.**
- **2:** Explica correctamente la relación de la inclinación del eje terrestre con las estaciones.
 - **0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea
- **Ítem 5: Explica las fases de la Luna.**
- **2:** Explica correctamente las fases de la Luna indicando la posición relativa Sol-Tierra-Luna.
 - **0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.
- **Ítem 6: Qué hechos pusieron en cuestión el modelo geocéntrico.**

- **2:** Cita los satélites de Júpiter, el movimiento de retrogradación de los planetas y las fases de Venus
 - **1:** Solo explica uno de los conceptos anteriores.
 - **0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.
- **Ítem 7. Explica como la observación de la Vía Láctea demuestra que estamos en una galaxia.**
- **2:** Explica como la visión de la Vía Láctea sugiere que miramos el plano de la galaxia.
 - **0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.
- **Ítem 8. Si la distancia del Sol a Neptuno fuera como un campo de fútbol (110 m), ¿qué tamaño crees que tendría la Tierra? ¿y el Sol? ¿y Júpiter?**
- **2:** Acierta los órdenes de magnitud (Tierra: 0.3mm, Júpiter: 3mm, Sol: 30mm) o al menos conserva la relación entre ellos (Sol 10 veces Júpiter que es 10 veces Tierra).
 - **0:** Exagera en dos órdenes de magnitud el tamaño por exceso o por defecto o no guarda la relación entre ellos.
- **Ítem 9: Cita tecnologías que han contribuido al desarrollo de la astronomía.**
- **2:** Cita telescopios, radiotelescopios, satélites, instrumentos astronómicos (Gnomon, astrolabio, etc.). No cuentan los ordenadores.
 - **1:** Solo cita uno de los conceptos anteriores
 - **0:** No cita ninguna de las aplicaciones.
- **Ítem 10: Explica con tus propias palabras la expansión del universo.**

- **2:** Si habla de la explosión en el Big Bang y como el universo se expande a partir de esta (no es necesario que explique que el espacio y tiempo se crean en él).
- **0:** No da ninguna explicación u ofrece una explicación errónea.

➤ **Ítem 11. ¿Qué pruebas hay de la expansión del universo?**

- **2:** Cita radiación de fondo, abundancia isotópica y corrimiento al rojo.
- **1:** Si nombra una o dos de las anteriores.
- **0:** No cita ninguna prueba.

➤ **Ítem 12. Comenta la frase: “La astronomía y la astrología son ciencias distintas”**

- **2:** Separa claramente la ciencia de la astronomía de la pseudociencia astrológica.
- **1:** Las diferencia pero no señala que la astrología no es una ciencia.
- **0:** Confunde ambas.

3.3.4 Cuestionario de alumnos vs. objetivos y dificultades

En la Tabla 12 encuentran recogidos de nuevo los objetivos y dificultades del tema, pero esta vez se relacionan con los ítems de los cuestionarios de alumnos y textos.

OBJETIVOS	DIFICULTADES	ÍTEMS ALUM.	ÍTEMS TEXTOS
1. Comprender aplicaciones básicas de la astronomía y su importancia para la supervivencia de la especie.	1. No tienen claro el papel de la astronomía en la orientación, agricultura, etc., porque en las sociedades avanzadas se vive al margen de la	1 3	2.1 2.2

	naturaleza.		
2. Familiarizar con los métodos de trabajo de la astronomía de observación visual (observaciones astronómicas diurnas y nocturnas, gnomon, etc.).	2. Desconocen los procedimientos implicados y, además, la mayoría de la población que vive en ciudades, no puede disfrutar el cielo nocturno.	1 3	3 4
3. Explicar observaciones del sistema Tierra-Sol-Luna (las estaciones, las fases de la Luna y las horas en las que se observa, etc.).	3. Atribuyen las estaciones a la distancia Tierra-Sol y las fases a eclipses de la Luna, y no tienen claro como pasar del SR en que se representan las posiciones de la luna al SR en que se realizan las observaciones.	4 5	5
4. Familiarizar a los alumnos con los procedimientos de los científicos, que elaboran modelos para explicar los problemas hasta que surgen dificultades que obligan a cambiarlos, en este caso, el geocéntrico, heliocéntrico, newtoniano, etc.	4. No comprenden que algunos enunciados solo cobran sentido en un determinado modelo ni los grandes avances que suponen (la gravitación universal rompe la barrera cielos tierra, el heliocentrismo que la Tierra no es un SR privilegiado, etc.)	2 6	4 6 7
5. Modelizar el sistema solar a escala.	5. Supera con mucho la escala humana y, en prácticamente ningún sitio existen representaciones adecuadas.	8	8
6. Comprender, a partir de observaciones astronómicas, que vivimos en una Galaxia y su forma aproximada.	6. No tienen claro que la Vía Láctea es el plano de la Galaxia.	7	9.1 9.2 9.3
7. Valorar la importancia de la técnica para el desarrollo de la astronomía y viceversa.	7. No ven las conexiones de la astronomía con la tecnología y la sociedad.	9	10.1 10.2

8. Comprendan que hay diversos tipos de estrellas, que evolucionan y que juegan un importante papel en la vida en el universo.	8. Concepción estática y no evolutiva de las mismas, debido a las grandes escalas temporales implicadas.		11.1 11.2
9. Comprender la teoría del Big Bang y las pruebas de la misma, así como que requiere refinamientos para explicar nuevas observaciones.	9. No ven que el Big Bang creó el espacio y no tuvo lugar en él.	10 11	12.1 12.2 12.3 13.1
10. Comprender que el universo está formado por miles de millones de galaxias, ninguna de las cuales ocupa un lugar central, a gran escala es homogéneo e isótropo.	10. Superan con mucho la escala humana.		13.2 14.1 14.2
11. Valorar la contribución de la astronomía al pensamiento crítico.	11. No ser conscientes de que las verdades científicas tienen que luchar contra los poderes y concepciones establecidos y que muchos enunciados supuestamente científicos no se pueden probar (la influencia de los astros en la vida humana, la existencia de los ovni, etc.).	12 6	15.1 15.2

Tabla 12. Objetivos y dificultades relacionados con ítems del cuestionario de los alumnos y textos.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS.

4.1 Análisis la red de análisis de textos

A continuación se comentan los resultados obtenidos con la red de análisis de textos:

➤ Ítem 1.1: ¿Qué porcentaje de páginas se dedica a la astronomía?

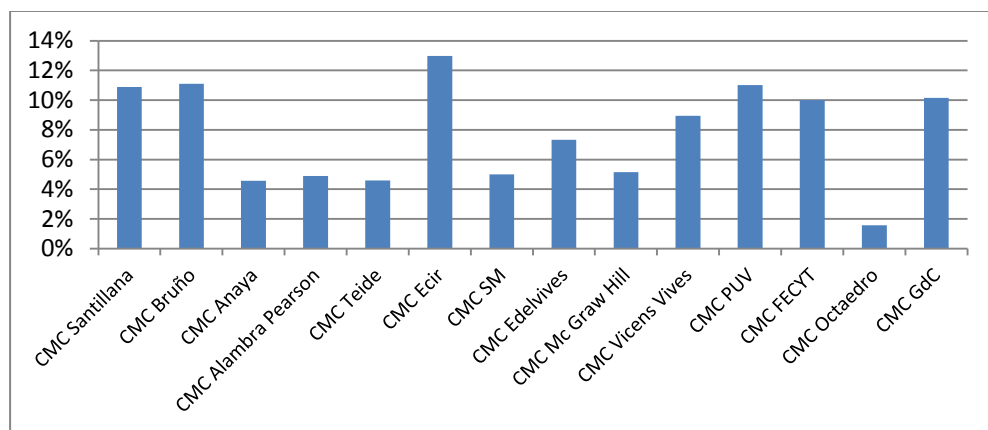


Figura 4. Porcentaje de páginas dedicadas al tema del universo en los libros de ciencias para el mundo contemporáneo

A partir de la Figura 4 puede obtenerse que el porcentaje medio de páginas dedicadas al tema de la astronomía en los libros de Ciencias para el Mundo Contemporáneo (CMC) es de 7,7 %. Esta asignatura consta de 5 bloques de contenidos: Nuestro lugar en el universo; Vivir más, vivir mejor; Hacia una gestión sostenible del planeta; Nuevas necesidades, nuevos materiales; y De la sociedad de la información a la sociedad del conocimiento. Sin embargo, como el tema analizado se plantea desde un punto de vista antropocéntrico (nuestro se refiere a la humanidad), el currículum incluye evolución biológica, origen de la vida y evolución humana. Esto se resuelve en la mayoría de los textos desdoblado el bloque en dos temas: uno de astronomía y otro de evolución, (lo mismo sucede

con la genética y la salud dentro del bloque “Vivir más, vivir mejor”). Así, se tienen un total de 7 temas con lo cual a la astronomía le debería corresponder un 14 % de las páginas. Como podemos ver, esto no es así en ninguno de los libros analizados. Evidentemente, a mayor número de páginas, más posibilidades de obtener contestaciones correctas a nuestros ítems, pero esto no siempre es así. Más bien depende de la presencia de profesores con conocimientos astronómicos entre los autores.

➤ **Ítem 1.2: ¿Qué apartados incluye?**

Se observa que la mayoría de los textos de Ciencias para el Mundo Contemporáneo comienzan con el universo y su origen, para pasar a las galaxias y las estrellas, el sistema solar y su exploración. Empiezan con lo más antiguo (con un criterio meramente cronológico) y grande en lugar de hacerlo por lo más próximo y sencillo, es decir, el sistema Sol-Tierra-Luna y las primeras concepciones sobre el universo.

La Tabla 13 resume las respuestas afirmativas obtenidas en el resto de los ítems cuando los libros de texto incluyen el aspecto mencionado en el cuestionario.

ÍTEM	SÍ
2.1 ¿Aparecen las aplicaciones básicas de la astronomía?	3
2.2 ¿Se hace mención de la astronomía como vehículo para la supervivencia de la especie?	3
3 ¿Se plantea alguna actividad relacionada con la observación astronómica?	3
4 ¿Se explican las observaciones a partir del modelo de Ptolomeo?	3
5 ¿Se explican las fases de la Luna?	2
6 ¿Aparecen las dificultades de la ciencia al enfrentarse con los poderes y concepciones establecidos?	7
7 ¿Se explicita la ruptura de la barrera cielos-tierra al hablar de la teoría	1

de la gravitación universal?	
8 ¿Se llega al concepto de galaxia a partir de las observaciones de la vía láctea?	2
9.1 ¿Se proponen actividades para modelizar el sistema solar a escala?	3
9.2 ¿Existe algún dibujo que muestre los diámetros del sistema solar a escala?	3
9.3 ¿Aparece algún dibujo que muestre a escala las distancias del sistema solar?	0
10.1 ¿Aparecen las relaciones de la astronomía con la tecnología?	13
10.2 ¿Se muestra cómo el desarrollo de la técnica en la astronomía ha revertido en la sociedad?	5
11.1 ¿Se explica la evolución estelar?	8
11.2 ¿Se explica cómo las estrellas son capaces de sintetizar los elementos más pesados?	11
12.1 ¿La teoría del Big Bang aparece reforzada con las pruebas?	10
12.2 ¿Se explicita con claridad que el espacio se crea en el Big Bang?	6
12.3 ¿Se explica el origen de la idea de la energía oscura?	4
13.1 ¿Queda bien explicado que el corrimiento al rojo es debido a la expansión del espacio?	1
13.2 ¿Se deja claro el radio del universo observable?	0
14.1 ¿Se menciona que el universo está formado por miles de millones de galaxias, ninguna de las cuales ocupa un lugar central?	0
14.2 ¿Existen figuras que muestren las escalas de las distintas estructuras del universo?	4
15.1 ¿Se descarta la astrología como ciencia?	7
15.2 ¿Se cuestiona la ufología?	3

Tabla 13. Respuestas positivas en cada ítem

➤ **Ítem 2.1: ¿Aparecen las aplicaciones básicas de la astronomía?**

Tan solo tres de los libros analizados señalan las aplicaciones básicas de la astronomía, bien en la introducción del tema, con referencias en el texto similares a “...las regularidades ayudaron a la caza, siembra y recolección”; o planteando

actividades como la que sigue “*Busca en Internet qué utilidad práctica tenía el conocimiento astronómico para los pueblos de la antigüedad. ¿Cómo crees que afecta a tu vida cotidiana?*”, o cuestionando la afirmación “*La astronomía es una ciencia básica: no tiene aplicaciones prácticas inmediatas*”.

➤ **Ítem 2.2: ¿Se hace mención de la astronomía como vehículo de supervivencia de la especie a largo plazo?**

Tres son los manuales que señalan a la astronomía como necesaria para la supervivencia de la especie a largo plazo. En uno de ellos se realiza una actividad sobre la construcción de naves tripuladas para llegar a otros planetas del sistema solar, y la necesidad de defendernos de los asteroides que nos amenazan. En la esta línea un manual plantea una pregunta y el otro propone la lectura de un artículo sobre “*...los viajes interestelares para extender la especie humana*”.

➤ **Ítem 3: ¿Se plantea alguna actividad relacionada con la observación?**

Únicamente tres textos proponen alguna actividad relacionada con la observación, y las propuestas ocupan un lugar anecdótico en el resto del tema. Las actividades propuestas son: *Justificación de que las estrellas se agrupan en galaxias, distinción de los planetas, medir el tamaño de la Luna, simple observación de las estrellas*. Es decir, los libros contribuyen a una enseñanza de la astronomía muy teórica, porque no ofrecen actividades relacionadas con la observación astronómica.

➤ **Ítem 4: ¿Se explican las observaciones a partir del modelo de Ptolomeo?**

De nuevo tan solo tres de los manuales explican las observaciones de fenómenos celestes a partir del modelo de Ptolomeo. Estas observaciones

aparecen inmersas en el texto al hablar del movimiento de la bóveda celeste y de cómo *“es normal que se pensara que la Tierra era el centro del universo”*; o en la explicación del movimiento de los planetas mediante los epiciclos de Ptolomeo; e incluso como actividad de reflexión al ofrecer comentar las frases: *“El Sol sale por el este y se pone por el oeste”*, *“la Luna se levanta”* o *“las estrellas giran en el cielo”*

➤ **Ítem 5: ¿Se explican las fases de la luna?**

En dos libros se hace mención a las fases de la Luna bien sea mediante una actividad que propone justificarlas, bien a través de una breve descripción del fenómeno. En ninguno de los casos aparece un dibujo en el que quede clara la relación Sol-Luna-Observador.

➤ **Ítem 6: ¿Aparecen las dificultades de la ciencia al enfrentarse con los poderes y concepciones establecidos?**

La mitad de los textos analizados muestran las dificultades que tuvo el modelo heliocéntrico, introduciendo algún breve párrafo sobre la condena de Galileo (y en un caso la de Bruno). Con ello se puede dar la sensación de que estas solo se producían en el pasado. En este sentido, solo uno de los textos plantea una actividad para mostrar que estas situaciones aún pueden darse: *“Recuerda otros ejemplos de oposición a teorías científicas por su desacuerdo con las concepciones vigentes en otros momentos históricos”*. Pero la mayoría de los textos no proponen ninguna actividad al respecto y solo la reflexión de los estudiantes sobre el tema y su contextualización en la actualidad pueden favorecer el desarrollo del pensamiento crítico.

➤ **Ítem 7: ¿Se explicita la ruptura de la barrera cielos-tierra al hablar de la teoría de la gravitación universal?**

Únicamente en uno de los manuales aparece la ruptura cielos-tierra, al señalar cómo la teoría de la gravitación universal explicó la caída de los cuerpos y el movimiento de todas las masas del universo. *“Así, la ley de la caída de los graves de Newton, que explica la caída de todos los objetos en la superficie terrestre... explica, además... las fuerzas que se ejercen entre si las masas de todo el universo, lo que a su vez explica... los movimientos de todos los planetas alrededor de sus estrellas, y de las estrellas en sus galaxias, y de las galaxias en sus cúmulos y agrupaciones.”*

➤ **Ítem 8: ¿Se llega al concepto de galaxia a partir de las observaciones de la Vía Láctea?**

Solamente en un libro se justifica el concepto de galaxia a partir de la observación de *“...una zona del cielo en la que se aprecian más estrellas y nebulosidades... el aspecto de nuestra galaxia cuando se contempla desde dentro”*

➤ **Ítem 9.1: ¿Se proponen actividades para modelizar el sistema solar a escala?**

En tres de los manuales se proponen actividades para asimilar los diámetros de los planetas del sistema solar del estilo de la siguiente: *“Recopila la información necesaria y dibuja a escala los planetas del sistema solar. Una escala de un centímetro por cada diez mil kilómetros puede ser adecuada. ¿Se aprecia algún indicio de que existan varios grupos?”*

➤ **Ítem 9.2: ¿Existe algún dibujo que muestre a escala las distancias del sistema solar?**

En tres de los manuales aparecen dibujos a escala de los diámetros del sistema solar. Incluso en uno de los manuales, se comparan los planetas con objetos más conocidos: *“Si el Sol fuese una bola de un metro de diámetro, Mercurio sería un grano de arroz situado a 42 m y Venus y la Tierra dos garbanzos colocados a 78 y 107 m, respectivamente...”*. Es común encontrar dibujos del sistema solar que no están a escala.

➤ **Ítem 9.3: ¿Aparece algún dibujo que muestre a escala las distancias del sistema solar?**

Ninguno de los manuales analizados ha realizado una escala de distancias con el sistema solar, aunque se podría hacer, por ejemplo, sobre el plano de una ciudad. En un caso se propone como actividad de la forma: *“Trázalas (las órbitas) suponiendo que todas son circulares. Puede ir bien una escala de medio centímetro por cada millón de kilómetros...”*. En otro libro, los planetas se representan juntos, pero indicando el tiempo que le cuesta a la luz del Sol llegar a cada planeta.

➤ **Ítem 10.1: ¿Aparecen las relaciones de la astronomía con la tecnología?**

En esta cuestión prácticamente todos los libros analizados (14) realizan algún tipo de tratamiento, y tan solo un libro no hace mención alguna. Telescopios, satélites, sondas espaciales y robots de exploración son las referencias más habituales a la tecnología. En uno de los textos se remarca esta relación con la tecnología con la frase *“...habrá que desarrollar una tecnología que permita los viajes interestelares”*, y en otro de forma más general con la frase *“...la desdibujada división entre ciencia y tecnología”*.

➤ **Ítem 10.2: ¿Se muestra cómo el desarrollo de la técnica en la astronomía ha revertido en la sociedad?**

Este ítem, que trata de afinar más la relación con la tecnología, busca el beneficio práctico que puede tener la astronomía en la sociedad. Cinco de los manuales analizados muestran estos beneficios, nombrando entre otros: *Las múltiples aplicaciones de los satélites: Comunicaciones, meteorología, vigilancia de cultivos, localización de incendios, detección de recursos naturales, geolocalización. Desarrollo del teflón y del velcro. Experimentos realizados en la estación espacial con fines farmacéuticos.* En uno de ellos se llega a plantear una actividad para evaluar la utilidad de la inversión en la exploración en el Sistema.

➤ **Ítem 11.1: ¿Se explica la evolución estelar?**

Son mayoría los libros que tratan la evolución estelar (8) frente a los que no la tratan (6), alcanzando distinto nivel de profundidad, desde 3 páginas a 300 palabras en un apartado. Algunos le dedican una actividad relacionada con la interpretación del diagrama de Hertzsprung-Russell.

➤ **Ítem 11.2: ¿Se explica cómo las estrellas son capaces de sintetizar los elementos más pesados?**

En once de los textos tratados se hace referencia a esta cuestión, no haciéndose en los otros tres. En estos últimos tampoco se había tratado la evolución estelar, con lo que quedan tres textos en los que se hace referencia verbalista a este hecho, quizá porque aparece en el currículo oficial, sin previamente haber explicado el ciclo de vida de las estrellas.

➤ **Ítem 12.1: ¿La teoría del Big Bang aparece reforzada con pruebas?**

El ítem aparece correctamente desarrollado en diez de los manuales analizados, y no lo hace en los otros cuatro. De las tres grandes pruebas a favor de la teoría del Big Bang, las más explicadas en los textos son la radiación de fondo y el desplazamiento al rojo de la luz de las galaxias, quedando la proporción de elementos ligeros en la nucleosíntesis inicial en último lugar.

➤ **Ítem 12.2: ¿Se explicita con claridad que el espacio se crea en el Big Bang?**

Son pocos los manuales que hacen referencia a este hecho (6), mientras que el resto (8) no hace mención alguna a este concepto clave. O frases del estilo a: *“El Big Bang no debe entenderse como la explosión de un punto de materia en el vacío, puesto que ni la materia existía como tal ni tampoco el espacio”*. En algún texto la explicación viene acompañada de la imagen típica del globo, que no resulta muy clarificadora, porque éste se expande en el espacio. En uno de los textos, primero se señala correctamente *“No había ni fuera, ni antes”*, para después anotar incorrectamente que *“...toda la materia se encuentra concentrada... en una pequeña parte del espacio”*

➤ **Ítem 12.3: ¿Se explica el origen de la idea de la energía oscura?**

Tan solo cuatro de los libros analizados muestran la energía oscura como concepto para encajar ciertas observaciones con el modelo de universo actual. Pese a ser un concepto controvertido, solo un manual da cuenta de las discrepancias existentes entre algunos grupos de científicos: *“En la actualidad, todavía hay establecida una polémica sobre la naturaleza de la energía oscura. Para algunos científicos es constante en el tiempo; para otros, cambia en el tiempo;*

para un tercer grupo, no existe, y en realidad, es la gravedad la que cambia en el tiempo haciéndose cada vez más débil”

➤ **Ítem 13.1: ¿Queda bien explicado que el corrimiento al rojo es debido a la expansión del universo?**

Únicamente un libro es capaz de explicar la naturaleza del corrimiento al rojo observado en la luz proveniente de galaxias lejanas. Este, recurre al clásico ejemplo del globo para señalar que el corrimiento al rojo es debido a la expansión del universo, y no, como habitualmente suele hacerse, al movimiento relativo de la fuente y el observador. Los libros que además de señalar el corrimiento al rojo tratan de explicarlo, lo hacen, la mayoría de las veces, comparando con el efecto Doppler producido en las ondas sonoras cuando existe movimiento relativo entre fuente y observador, citando el ejemplo clásico de la bocina de un automóvil.

➤ **Ítem 13.2: ¿Se deja claro el radio del universo observable?**

En este caso ninguno de los manuales analizados ha incidido en el concepto de radio del universo observable, hablando siempre de la edad del universo y suponiendo que la luz ha recorrido el equivalente a esa edad en años luz, sin tener en cuenta la expansión del espacio.

➤ **Ítem 14.1: ¿Se menciona que el universo está formado por miles de millones de galaxias, ninguno de los cuales ocupa un lugar central, siendo homogéneo e isótropo a gran escala?**

Aunque hay 3 libros que hablan de miles de millones y dos que precisan más y mencionan 10^{11} galaxias, lo cierto es que ninguno de ellos menciona que

ninguna ocupa un papel central y tampoco la homogeneidad e isotropía que enuncia el principio cosmológico.

➤ **Ítem 14.2: ¿Existen figuras que muestren las escalas de las distintas estructuras del universo?**

Solo cuatro de los libros analizados muestran figuras en las que aparezcan representadas las distintas escalas del universo. Las imágenes que aparecen realizan un zoom progresivo del estilo: sistema solar> Estrellas próximas> Galaxia> Grupo Local> Supercúmulo> universo, e incluso un manual plantea una actividad de escalas con esa figura.

➤ **Ítem 15.1: ¿Se descarta la astrología como ciencia?**

En la mitad de los manuales analizados se analiza esta cuestión, bien sea al inicio del tema al hablar de la ciencia, como comentario en el texto al referirse a la precesión de los equinoccios, o planteando alguna actividad con el fin de destapar el carácter pseudocientífico de la astrología.

➤ **Ítem 15.2: ¿Se cuestiona la ufología?**

Esta cuestión está menos trabajada que la anterior, al aparecer tratada en tan solo 3 de los textos analizados, señalando en algún caso que *“ninguna de las personas que afirman haber visto un ovni, son astrónomos”*. Nuevamente se evita una interesante posibilidad de ejercitar el pensamiento crítico.

En resumen, se puede apreciar que las grandes editoriales apuestan poco por las innovaciones, y por eso no suelen tener en cuenta las dificultades de los estudiantes, como lo evidencia el que la media de respuestas afirmativas al

cuestionario de los libros ha sido de 7,3 sobre 14 ítems posibles, es decir, bastante baja. Siete de los 14 libros analizados se encuentran por encima de la media. Un 31,1% de los estudiantes utilizó el libro de la editorial Teide, que obtuvo 8 respuestas afirmativas. Un 24,8% de los estudiantes se sirvió del libro de la editorial Bruño, cuyas respuestas afirmativas fueron 12. Un 45,1 % de los estudiantes utilizó el libro de la editorial Santillana, con tan solo 5 respuestas afirmativas en todo el cuestionario. Aunque la media de estos 3 libros sea de 8,3 respuestas afirmativas, se encuentra solo ligeramente por encima del promedio y los resultados de los estudiantes han sido pobres en todos los grupos, lo que indica las dificultades del aprendizaje de la astronomía y que la enseñanza usual de la misma, de la que los libros de texto son buenos indicadores, no las tiene en cuenta.

4.2 Análisis de resultados obtenidos a partir del cuestionario de profesores

La red de análisis de profesores se ha pasado a un total de 27 profesores de ciencias, de distintas especialidades (Tabla 14), asistentes a un curso de formación sobre Ciencias para el Mundo Contemporáneo en el Centro de Profesores de Torrent. Doce de ellos corresponden a centros concertados, lo que explica el elevado número de ingenieros, ya que están habilitados para impartir Matemáticas, Física y Química, Informática, etc.

ESTUDIOS	NÚMERO
Licenciatura en Biología	1
Licenciatura en Farmacia	2
Licenciatura en Física	6
Licenciatura e Ingenieros Químicos	10
Otras ingenierías	8

Tabla 14. Número de profesores según la titulación cursada

➤ **Ítem 1: ¿Qué contenidos propondrías para desarrollar el tema de astronomía en Ciencias para el Mundo Contemporáneo de 1º de bachillerato?**

Si se tiene en cuenta los contenidos propuestos en los criterios de valoración del cuestionario (coincidirán posteriormente con el índice de la propuesta de tema), las 109 respuestas de los 27 profesores pueden agruparse en estos siete bloques según muestra la Tabla 15:

CATEGORÍAS PROPUESTAS	RESPUESTAS	PROFESORES
Antecedentes. Primeras ideas del universo	12	9
La astronomía y sus aplicaciones	7	6
Del sistema geocéntrico al heliocéntrico	14	12
La síntesis Newtoniana	4	4
Imagen actual del universo	58	24
Satélites artificiales y sus aplicaciones	8	7
La nave espacial Tierra y sus amenazas	1	1
Otros	5	4

Tabla 15. Número de respuestas y de docentes en el ítem 1 del cuestionario de profesores.

En la primera categoría, la que hace referencia a “Antecedentes y Primeras ideas del universo”, se han obtenido 12 repuestas que encajarían en este apartado. De estas, 9 están dirigidas de una forma u otra a la observación, bien sea de las fases lunares (3) o de las constelaciones (4) como respuestas mayoritarias. Estas 12 respuestas, han sido ofrecidas por 9 profesores.

La siguiente categoría en el desarrollo de nuestro tema, “La astronomía y sus aplicaciones”, tan solo ha obtenido 7 respuestas, elaboradas por 6 profesores. Parte de estas respuestas están dirigidas a la explicación de las estaciones (3), otras al calendario (3) y tan solo una respuesta a descartar a la astrología como ciencia.

Dentro de este apartado, se encuentra también la orientación (navegación, agricultura, arquitectura), pero esta no ha sido nombrada por ningún docente.

“Del sistema geocéntrico al heliocéntrico” incluye 14 respuestas. En estas respuestas están englobadas todas las que hacen referencia a la historia de la astronomía (8), por ser este período el más significativo históricamente de todo el tema. Aparecen también algunas respuestas (4) que hacen referencia explícita a la *“situación de la Tierra según la época”*, dando a entender una evolución del modelo cosmológico. Los instrumentos astronómicos reciben las otras 2 respuestas. Estas 14 repuestas provienen de las contestaciones de 12 profesores.

“La síntesis Newtoniana” recibe tan solo 4 respuestas de 4 profesores distintos, 3 de ellas referentes a la explicación de la gravedad y 1 a su aplicación al entendimiento de las mareas. Quedan fuera de las respuestas ofrecidas otras aplicaciones del descubrimiento de la gravedad como la órbita de los cometas o la predicción de la existencia de nuevos planetas. En ningún caso se ha planteado a la teoría de la gravedad ofrecida por Newton como la primera gran unificación de la física, ni como parte de las fuerzas fundamentales de la naturaleza. Es significativo también, que tratando este apartado la síntesis Newtoniana no se plantee ninguna actividad de escala que ayude al alumnado a asimilar las distancias y tamaños en juego, o se introduzca el concepto de galaxia como agrupación de estrellas ligadas por la gravedad.

La categoría que más respuestas ha obtenido ha sido “Imagen actual del universo”, con 58 contestaciones que pueden clasificarse en tres grandes bloques. Respuestas relacionadas con el sistema solar (23) fueron dadas por 20 profesores, y hacen referencia al estudio general del mismo (19), al movimiento de planetas (2) y a los eclipses (2). Respuestas referentes a objetos exteriores al sistema solar (22)

las ofrecen 15 profesores, y engloban a estrellas (7), galaxias (8), objetos exóticos (5), cuerpos celestes en general (1) y planetas extrasolares (1). Las respuestas sobre cosmología (13) fueron dadas por 9 profesores en las que aparecen el origen (5) y la evolución del universo (4) como respuestas mayoritarias. Ninguna de las respuestas habla de actividades de escala para el sistema solar o la Galaxia, de las estructuras del universo o de las pruebas de la teoría del Big Bang. El hecho de que el máximo de respuestas corresponda a esta categoría, con menor incidencia en cuestiones históricas y relativas a las relaciones CTS, refleja la tendencia a explicar la astronomía desde un punto de vista muy teórico, plagado de conceptos sin importar como se ha llegado a ellos.

Los “Satélites y sus aplicaciones” aparecen en 8 respuestas dadas por 7 profesores. Algunas de estas respuestas hablan de la puesta en órbita (1) y la carrera espacial (4), y otras de la importancia de los satélites para la sociedad (3). La basura espacial y la problemática de los viajes espaciales tripulados no aparecen en ninguna de las respuestas.

En el apartado “La nave espacial Tierra y sus amenazas”, puede aceptarse una respuesta de un docente que hace una mención a la *“Relación del hombre con el Cosmos”*. No aparece explícitamente ninguna de las amenazas al planeta Tierra, ni las internas (agotamiento de recursos, epidemias, armamento), ni las externas (objetos cercanos a la Tierra, basura espacial, llamaradas solares, estallidos gamma).

En la categoría de otras respuestas (5) se incluyen aquellas que hacen referencia a contenidos de otros temas como “El planeta Tierra” o “El origen y evolución de la vida”.

➤ **Ítem 2: ¿Es importante enseñar astronomía a toda la población? ¿Por qué?**

A partir de los criterios de valoración nombrados en el apartado anterior, se ha construido la Tabla 16 en la que se categorizan las 46 repuestas ofrecidas por los 27 profesores:

CATEGORÍAS PROPUESTAS	RESPUESTAS	PROFESORES
Ayuda al estudiante a acercarse al modo de proceder en ciencia	8	8
Contribuye a mostrar las relaciones de la ciencia con la tecnología y la sociedad	22	19
Para fomentar el pensamiento crítico	4	4
Actúa de vía motivadora	5	5
Otros	7	7

Tabla 16. Número de respuestas y de docentes en el ítem 2 del cuestionario de profesores.

La primera categoría, que es la que guardaría relación con la epistemología de la ciencia, ha recibido 8 respuestas entre las que aparecen: La evolución histórica de la ciencia (4), los dilemas y cambios de paradigma (2) y la multidisciplinariedad (2).

La categoría con mayor número de respuestas ha sido la que hace referencia a las relaciones de la ciencia con la tecnología y la sociedad, con un total de 22 respuestas de las 46 realizadas en este apartado. Dentro de esta categoría se encuentran respuestas relacionadas con la explicación de fenómenos (4) como son las mareas, estaciones o el calendario; con la explicación de cuestiones fundamentales (8) que hacen referencia al *“estado actual del universo”*, porque *“todos vivimos en él”* y conviene *“conocer nuestro origen”*; o entender lo que nos

rodea (8). La influencia en el desarrollo tecnológico, la necesidad de viajes espaciales y de encontrar nuevos lugares de exploración son otras de las respuestas sugeridas.

También aparecen respuestas relacionadas con fomentar el pensamiento crítico (4), en las que se habla de *“explicar creencias antiguas”* y *“no caer en supersticiones”* o *“evitar dogmas de fe”*, además de *“descartar la astrología como ciencia”*.

Como última categoría, aparecen respuestas que indican como la astronomía actúa de vía motivadora interesando a los alumnos (4) y con la relajación que supone mirar las estrellas (1).

Aparecen otras respuestas en otros (7), que hacen referencia a que enseñar astronomía es conveniente para adquirir cultura general (6) e incluso la respuesta de un profesor que indica que la astronomía *“no es imprescindible para la vida de las personas”*, con lo cual no es necesario su enseñanza.

➤ **Ítem 3: ¿Cuáles crees que son las principales dificultades que pueden tener los alumnos a la hora de tratar en clase el tema de astronomía?**

Según los criterios de valoración para este ítem, se ha construido la Tabla 17 con las categorías correspondientes a las 58 repuestas ofrecidas por los 27 profesores:

CATEGORÍAS PROPUESTAS	RESPUESTAS	PROFESORES
No tienen claras las relaciones de la astronomía con la tecnología y la sociedad	4	4
No están familiarizados con la observación, y eso	8	7

dificulta entender el sistema Tierra-Sol-Luna, la Vía Láctea, etc.		
Familiarizarse con los procedimientos científicos ya que no comprenden que algunos enunciados solo cobran sentido en un determinado modelo.	3	3
Entran en juego escalas muy alejadas del ser humano (tiempos, distancias, número de objetos, etc.)	9	8
Concepción estática y no evolutiva de las estrellas, debido a las grandes escalas temporales implicadas.	2	2
No ven que el Big Bang creó el espacio y no tuvo lugar en él.	2	2
Conceptos alejados del sentido común	9	8
Necesidad de contenidos de otras asignaturas	13	8
Otras respuestas	7	6

Tabla 17. Número de respuestas y de docentes en el ítem 3 del cuestionario de profesores.

La primera de las dificultades recogidas en la Tabla 17, relaciones de la astronomía con la tecnología y la sociedad, ha obtenido tan solo 4 respuestas realizadas por 4 docentes. Las contestaciones estaban dirigidas a notar que la astronomía se presentaba sin utilidad o aplicación en la vida diaria para los estudiantes. Estas respuestas podrían estar incluyendo de forma implícita, bien las aplicaciones directas de la astronomía (agricultura, orientación, supervivencia, etc.), bien la relación con la tecnología (avanzar a la ciencia con desarrollos tecnológicos, y el que crea nueva tecnología a partir de desarrollos científicos), pero en ninguna respuesta se especifica. Tampoco se ha nombrado en ningún momento la dificultad de separar cuestiones científicas de creencias populares (p.ej. astrología y fenómeno ovni).

Otra de las dificultades planteadas en los criterios es la que hace referencia a la observación. En esta ocasión, 8 respuestas se relacionan de alguna manera con la dificultad de que los alumnos estén familiarizados con la observación astronómica. Dentro las respuestas solo en 1 ocasión se explicita la necesidad de *“extraer conclusiones a partir de la observación”*, y aunque algunas respuestas hablan de *“entender los movimientos de rotación”* o *“traslación”* (3), el resto hablan de dificultades a observar (1), al planear salidas (2) o al manejar instrumentos (1). Casos particulares acerca de extraer conclusiones de la observación o encajar las observaciones según el modelo, como la que indica que estamos en una galaxia a partir de la observación de la Vía Láctea en el cielo nocturno, no aparecen en ninguna ocasión.

Que el estudiante desconozca las formas de proceder en ciencia, aparece en 3 respuestas de 3 docentes. En ellas se hace referencia a las *“ideas alternativas debidas a la creencia popular”* (2) o la necesidad de *“explicar los conceptos utilizando la historia de la ciencia”* (1). No aparecen respuestas concretas que sigan la línea modelo-dificultad-cambio-modelo o lo especifiquen en el geocentrismo, heliocentrismo, newtoniano, etc.

De las categorías propuestas en los criterios de valoración del cuestionario, la que más respuestas ha obtenido es la que hace referencia a las escalas implicadas en el universo (9). Entre estas, se encuentran contestaciones referidas a distancias (4), tamaños (3) y magnitudes en general (2).

La dificultad que entraña considerar a los astros como cuerpos dotados de evolución aparece en 2 respuestas ofrecidas por 2 docentes cuando hacen referencia a los agujeros negros o en otra respuesta más específica al *“origen y evolución de los astros”*. Estas respuestas demasiado genéricas no hacen referencia

explícita a la evolución estelar (con la explicación sencilla del diagrama de Hertzsprung-Russell), y con ella la formación de elementos pesados en las explosiones supernova.

Solo 2 contestaciones de 2 docentes proponen la pregunta “¿qué había antes del Big-Bang?” como dificultad. En estas respuestas no se plantea la dificultad de que el Big Bang originó el espacio y el tiempo, y no tuvo lugar en ellos indicando preexistencia.

En el análisis de las respuestas aparece alguna categoría más, como la dificultad de entender conceptos alejados del sentido común. Se han obtenido 9 respuestas de 8 docentes entre las que se observan contestaciones del estilo: “puede resultar abstracto” (3), “trata conceptos no tangibles” (2), problema sobre la finitud del universo (2). Una última categoría, y la más numerosa, es la que señala que el tema tratado necesita de contenidos de otras asignaturas (13). Las contestaciones mencionan que la astronomía posee gran contenido físico (5), está muy ligada a las matemáticas (4), utiliza un lenguaje muy técnico (3) o se ha trabajado poco antes del curso actual (1). Esta dificultad ya ha sido recogida por la investigación en didáctica de las ciencias como concepción previa de los docentes. Además la asignatura Ciencias para el Mundo Contemporáneo pretende una enseñanza divulgativa, sin necesidad de muchos conceptos científicos previos ya que se oferta a los estudiantes de todas las modalidades.

Para finalizar queda reseñar otras respuestas (7) ofrecidas por los docentes entre las que destacar “la falta de interés” (3) o “de material” (2).

➤ **Ítem 4: ¿Qué objetivos importantes pueden servir como indicadores de que el estudiante ha comprendido el tema al cual nos referimos?**

Esta cuestión ha obtenido 58 respuestas, que se han clasificado según los criterios de valoración del cuestionario de profesores, que muestra la Tabla 18.

CATEGORÍAS PROPUESTAS	RESPUESTAS	PROFESORES
Comprender las aplicaciones de la astronomía, su relación con la tecnología y con la sociedad.	3	2
Familiarizarse con los métodos de observación (diurna, nocturna) para entender los fenómenos explicados por el sistema Tierra-Sol-Luna y nuestra posición en el universo.	8	7
Familiarizar a los alumnos con los procedimientos de los científicos, que elaboran modelos para explicar los problemas hasta que surgen dificultades que obligan a cambiarlos.	10	7
Modelizar el sistema solar a escala, y comprender que el universo está formado por miles de millones de galaxias, siendo homogéneo e isótropo a gran escala.	8	7
Comprendan que hay diversos tipos de estrellas, que evolucionan y que juegan un importante papel en la vida en el universo.	3	3
Comprender la teoría del Big Bang y las pruebas de la misma, así como que requiere refinamientos para explicar nuevas observaciones.	7	5
Descripción de objetos astronómicos	7	7
Otras respuestas	12	12

Tabla 18. Número de respuestas y de docentes en el ítem 4 del cuestionario de profesores.

El primer objetivo que aparece en la Tabla 18 hace referencia a las aplicaciones de la astronomía y su relación con la tecnología y la sociedad,

obteniendo solo 3 respuestas en las que se hace referencia a estudiar los “*tipos de calendarios*”, “*las partes del telescopio*” y a la “*importancia cultural de mitos y leyendas*”. Fuera de las contestaciones han quedado otras aplicaciones básicas de la astronomía (orientación, agricultura y supervivencia), o comentarios que incluyeran las relaciones con la tecnología y sociedad (satélites, inventos procedentes de la carrera espacial, etc.)

Las respuestas que consideran como objetivo que el alumno se familiarice con los métodos de observación y consiga así entender distintos fenómenos (8), van orientadas hacia la “*observación del cielo como forma de ocio*” (2) o a “*explicar los movimientos de rotación y traslación*” (3). El conocimiento de las constelaciones (1), diferenciar estrellas y planetas (1) y concienciar sobre la contaminación lumínica (1), son otras de las respuestas dadas. Muchas otras respuestas que podrían encajar en estos objetivos quedan sin nombrar (orientación nocturna y diurna, uso del gnomon o del planisferio celeste, fases de la Luna, Vía Láctea, etc.).

Dentro de las categorías propuestas en los criterios de valoración, la que más respuestas ha obtenido (10) es la que señala como objetivo que el estudiante se familiarice con la forma de proceder científica. Entre estas, se encuentran las que nombran de alguna forma la evolución histórica (5), las que citan explícitamente la palabra modelo (4) o simplemente se limitan a señalar el concepto de gravedad (1).

Otro de los objetivos tenidos en cuenta en la investigación, es hacer que el estudiante comprenda las magnitudes que entran en juego, tanto a nivel de tamaños/distancias del sistema solar, como del número de galaxias en el universo. En esta categoría se encuentran las respuestas que han sugerido la realización de escalas del sistema solar (5) y las que van encaminadas a conocer las estructuras

del universo (3). De estas últimas, solo una de ellas señala como objetivo ordenar las distintas agrupaciones (sistemas, galaxias, etc.). Ninguna menciona el objetivo de comprender que el universo es homogéneo e isótropo a gran escala.

Que los estudiantes conozcan que las estrellas son astros en constante evolución es otro de los objetivos fijados en el tema. Solo 3 respuestas de 3 docentes están dirigidas en esta dirección señalando la importancia del origen de los elementos pesados (1), la existencia de tipos de estrellas (1) y, de manera más débil, la identificación de estrellas (1). Nadie habla del tipo de estrella que se está identificando y de su situación en el diagrama de Hertzsprung-Russell.

Como última categoría señalada en los criterios de valoración, está que los alumnos comprendan la teoría del Big-Bang, sus pruebas y los refinamientos que requiere para explicar nuevas observaciones. Aquí pueden encajarse 6 respuestas dadas por 5 docentes, entre las cuáles se encuentran *“conocer el origen del universo”* (2), *“la teoría del Big Bang”* (2) y por último las que indican reflexionar sobre la expansión, la radiación de fondo, el efecto Doppler (2) o la composición del universo, materia y energía oscura (1).

Fuera de las categorías señaladas en los criterios aparecen respuestas relacionadas con la descripción de objetos astronómicos (7) bien sea de manera general (4) o particularizando al sistema solar (3). Por últimos señalar que se han dado otras respuestas (12) que guardaban poca relación con los objetivos, de las cuales destacan 2 que se encontraban en blanco. El resto (10) hacía referencia a trabajos, exámenes, motivación, etc.

➤ **Ítem 5: ¿Qué métodos de enseñanza emplearías para favorecer el aprendizaje de la astronomía?**

En esta cuestión se han obtenido un total de 79 respuestas ofrecidas por 26 docentes que se han categorizado según los criterios de valoración del cuestionario, tal y como muestra la Tabla 19:

CATEGORÍAS PROPUESTAS	RESPUESTAS	PROFESORES
Cuestionamiento de las ideas alternativas.	0	0
La realización de actividades CTS (aplicaciones, debates sobre astrología y el fenómeno ovni, etc.).	9	8
Iniciación a la investigación en las ciencias (observaciones, experiencias, presentación de resultados, etc.).	22	17
Utilización de recursos (actividades de escala, representaciones 3D, simulaciones, etc.).	38	20
El trabajo en equipo del alumnado (presentación de conceptos, debates, webquest, etc.).	8	8
Otras respuestas.	3	3

Tabla 19. Número de respuestas y de docentes en el ítem 5 del cuestionario de profesores.

En ninguna ocasión se han cuestionado las ideas alternativas, que podrían ser numerosas en este tema, pudiendo señalar: Causa de las estaciones, fases de la Luna, expresiones del lenguaje geocéntricas, escalas del sistema solar, origen del universo, etc.

La realización de actividades CTS se ha dejado entrever en 9 respuestas ofrecidas por 8 docentes, pero son muy genéricas. Algunas de estas (4) están dirigidas a tratar aspectos históricos, otras señalan como conveniente realizar “*actividades CTSA*” (2) o “*enfoques interdisciplinares*” (2) y contribuciones de

científicos actuales (1). En ningún caso se han explicitado las actividades en sí, por lo que no se menciona la astrología y el fenómeno ovni, la contribución de la astronomía a la actual era de las telecomunicaciones, el desarrollo de materiales e inventos fruto de la carrera espacial, etc.

Otra de las categorías propuestas como método de enseñanza ha sido la iniciación a la investigación en ciencias, en la cual se ha colocado 22 respuestas ofrecidas por 7 docentes. Pocas respuestas nombran la realización de un proyecto de investigación completo (4). Las respuestas mayoritarias son muy empiristas y están dirigidas a la observación (10), mientras que otras señalan la realización de experiencias o prácticas de laboratorio (5). Por último nombrar aquellas contestaciones que sugieren la construcción de un sistema solar (3).

La categoría con mayor número de respuestas es la que señala la utilización de los distintos recursos en el aula, con 38 repuestas ofrecidas por 20 docentes. Destacan en número los recursos multimedia (12), que nombran vídeos, documentales y películas de ciencia ficción. También de forma mayoritaria se señalan las visitas a museos, observatorios y planetarios (11) como metodología de enseñanza. La búsqueda de información a través de noticias, revistas y libros (6), el uso de cuestiones teóricas (4) y el uso de software informático (4) son otros métodos propuestos.

El trabajo en equipo es la última de las categorías propuestas, obteniendo 8 respuestas de 8 docentes. En ellas, los debates han recibido el mayor número de sugerencias (6) siendo mínimas las contestaciones que sugieren exposiciones orales (1) o trabajo en equipo en general (1).

Para finalizar, mencionar que en otras respuestas (3) se encuentran docentes que sugirieron utilizar clases magistrales, no utilizarlas y dejar la cuestión sin contestar.

➤ **Ítem 6: ¿Cómo harías comprender a los alumnos las escalas del sistema solar?**

En este último ítem, se han obtenido 30 respuestas de 24 docentes, que se han categorizado en las categorías que muestra la Tabla 20.

CATEGORÍAS PROPUESTAS	RESPUESTAS	PROFESORES
Comparando con objetos conocidos	7	7
Realizando actividades de escala	9	9
Comparando de forma visual	2	2
Otras respuestas	9	7
No contesta	3	3

Tabla 20. Número de respuestas y de docentes en el ítem 6 del cuestionario de profesores.

Entre las respuestas ofrecidas por los profesores, 8 se podrían clasificar en la categoría de comparar con objetos conocidos. Entre estas los que más concretan señalan que compararían con *“distancias a ciudades”*, con *“objetos de la vida cotidiana”*, con *“los granos de arena de playa”* o con *“analogías como la del átomo”*. Otras respuestas más generales hablan de *“comparar tamaños”*, *“comparar algo muy pequeño con algo muy grande”*.

También se proponen la realización de actividades de escala en 9 de las respuestas. Con distinto grado de concreción se encuentran por una parte los que solo nombran actividades de escala (5), y entre estos últimos solo 2 respuestas proponen escalas de diámetro y distancias; y por otra los que además de señalar actividades de escala proponen un añadido adicional (4), como el uso de software o la construcción de un modelo.

Se han obtenido 2 respuestas que podrían englobarse en una comparación visual, como la que propone la *“simulación mediante ordenador”* o *“a través de imágenes y vídeos”*.

La última categoría realizada engloba otras respuestas (9) entre las que destacan en número la explicación de la idea de año luz (4).

Para finalizar, destacar que 3 docentes dejaron la cuestión sin contestar, único momento del cuestionario en el que esto ha sucedido. Esto puede sugerir que hacer entender las magnitudes en juego puede resultar una tarea complicada, requiriendo la preparación detallada de una actividad a tal efecto, con el fin de que distancias y tamaños no queden en un conocimiento memorístico.

4.3 Análisis de los resultados obtenidos con el cuestionario de alumnos.

4.3.1 Porcentaje de respuestas correctas en el grupo control

El cuestionario del alumnado se aplica a una muestra de 113 estudiantes de bachillerato que cursaban la asignatura de Ciencias para el Mundo Contemporáneo, en una sesión de clase de una hora de duración, semanas después de haberse impartido el tema. Estos estudiantes corresponden a 4 grupos diferentes, de los cuáles dos pertenecen a un centro privado concertado y los otros dos a centros públicos de la Comunidad Valenciana. Mostramos a continuación los ítems, los resultados (desglosados en diferentes categorías) y la discusión de los mismos.

➤ **Ítem 1: Explica cómo te orientarías de noche y de día.**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	8,8%
Respuestas incorrectas	59,3 %
Explican correctamente una situación, bien de día, bien de noche	25,7%
Explican correctamente ambas situaciones, el día y la noche	6,2%

Tabla 21. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos Ítem 1

Únicamente un pequeño porcentaje del total (6,2%) es capaz de explicar cómo orientarse tanto de día como de noche. Si se tiene en cuenta los alumnos que explican adecuadamente una sola de las dos situaciones, bien sea el día, bien sea la noche, se obtiene un 25,7% del total.

Un 59,3% del alumnado contesta la pregunta pero no consigue dar con la explicación adecuada, ni para el día ni para la noche.

Si se tienen en cuenta las respuestas consideradas incorrectas, un total de 125, un 45,6% nombran al Sol en sus respuestas y un 30,4% a las estrellas, sin explicar nada más.

Un 8,8% de los cuestionados se posicionan en la categoría de No sabe/No contesta.

➤ **Ítem 2: Comenta la frase: “El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste”.**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	8%
Otras respuestas incorrectas	16,8%
Confusión explícitamente geocéntrica, incluso repitiendo la misma frase	46,9%
Respuesta correcta	28,3%

Tabla 22. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos ítem 2

Poco más de un cuarto de los estudiantes (28,3%) han contestado adecuadamente la pregunta, dando cuenta del carácter geocéntrico de esta como el siguiente ejemplo: *“El Sol no sale ni se pone sino que la Tierra gira sobre ella misma de izquierda a derecha y por tanto da la sensación a simple vista de que sale por el este y se pone por el oeste”*

El resto de los estudiantes (71,7%) no ha contestado correctamente la pregunta, con casi la mitad del alumnado (46,9%) respondiendo de forma geocéntrica, en algunos casos amplificando más aun el carácter geocéntrico del propio enunciado, como el ejemplo siguiente: *“El Sol tarda unas 24 h en dar la vuelta a la Tierra y el sentido en que gira hace que dé la sensación de que sale, es decir, que aparece por el este y cuando acaba de dar la vuelta (trayectoria), desaparece por el oeste”*

Por último citar que un 16,8% se engloba en otras respuestas incorrectas y un 8% no sabe o no contesta la pregunta.

➤ **Ítem 3: Señala aplicaciones que conozcas sobre la astronomía e indica en que observaciones se basan.**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	44,2%
Respuestas incorrectas	35,4%
Citan aplicaciones sin indicar observaciones	15%
Citan aplicaciones indicando la observación en que se basan	5,4%

Tabla 23. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos ítem 3

Tan solo un 5,4% de los estudiantes encuestados son capaces de señalar una aplicación sobre la astronomía explicando las observaciones en las que se fundamenta. Un 2,7 % de estudiantes hacen referencia a la creación de un

calendario, un 1,8 % a la orientación y un 0,9 % a la supervivencia de la especie, justificando así la observación de meteoritos.

Un 15% es capaz de señalar algunas de las aplicaciones de la astronomía pero sin dar una justificación de las observaciones involucradas. Si se hace el desglose de las 28 respuestas se obtiene: 35,7% de respuestas referentes a la orientación, un 25% a la meteorología, un 21,4% al calendario, un 7,1% a la agricultura, un 7,1% a la supervivencia de la especie y un 3,6% a las mareas.

Un 35,4% pertenece al apartado de respuestas incorrectas. Atendiendo ahora a los porcentajes de respuestas incorrectas sobre un total de 58 de estas, un 58,6% de respuestas confunden las aplicaciones prácticas de la astronomía con la búsqueda de conocimiento (sobre otros planetas, estrellas, galaxias o cuestiones cosmológicas); y, lo que es más preocupante, un 15,5% del total de respuestas, manifiestan los horóscopos como una aplicación de la astronomía. Casi la mitad del total de los estudiantes (44,2 %) no saben o no contestan la pregunta.

➤ **Ítem 4: ¿Cómo podemos explicar astronómicamente las estaciones del año?**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	16,8%
Respuestas incorrectas	65,5%
Explican cómo determinar astronómicamente mediante la observación de las constelaciones estacionales	5,3%
Explican astronómicamente las estaciones nombrando la inclinación del eje	12,4%

Tabla 24. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos Ítem 4

Un 12,4% del alumnado indican la inclinación del eje terrestre como la causa de las estaciones. A este porcentaje de aciertos, hay que sumar los estudiantes que han considerado que las estaciones pueden determinarse

astronómicamente mediante la observación de las constelaciones propias de cada estación (5,3%), con frases como la siguiente: *“Dependiendo de donde esté la Tierra (en su movimiento de traslación) se ven unas constelaciones u otras”*. Si bien esta no era la respuesta buscada en este ítem, también es una interpretación adecuada de la pregunta.

Una gran parte (65,5%) fallaron en el intento de contestar la pregunta, siendo mayoría (30,1%) el alumnado que otorga a la distancia Tierra-Sol la causa de las estaciones, ofreciendo el resto respuestas más o menos confusas. Esta confusión alcanza su máximo en un estudiante que contesta lo siguiente: *“Los rayos del Sol dan directamente a una parte de la Tierra, en este lugar, será verano. En la parte que dé perpendicularmente será primavera, ya que los rayos no dan directamente pero sí recibe. En el otro lado tenemos el invierno, donde no se proyectan rayos ni directa ni indirectamente”*

El resto de respuestas, un 16,8% se engloban en la categoría NS/NC.

➤ **Ítem 5: Explica las fases de la Luna.**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	23,9%
Respuestas incorrectas	76,1%
Explica las fases de la Luna correctamente	0%

Tabla 25. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos Ítem 5

Nadie entre todo el alumnado ha conseguido explicar correctamente las fases de la Luna, indicando (o dibujando) la posición relativa Sol-Tierra-Luna.

En las respuestas incorrectas, se encuentran un 76,1% del alumnado, y haciendo porcentaje sobre el total de respuestas, un 16,8% ha intentado explicar las fases de la Luna sin éxito con frases como la siguiente, en la que se confunde

explícitamente la fase con un eclipse: *“En esta fase no podemos ver la Luna porque la Tierra tapa toda la luz solar”*.

Parte del alumnado intenta describir o dibujar la forma las fases lunares, realizándolo correctamente tan solo un 8%. Un 11,5% realizaron un dibujo erróneo de dicha forma, en el que se aprecia que no solo confunde las fases decreciente y creciente, sino también las llena y nueva.

En el nivel previo a dejar la pregunta en blanco se encuentran los que nombran, al menos, las fases de la Luna. Un 17,7% de los estudiantes señalan correctamente las fases de la Luna, mientras que un 22,1% intenta nombrarlas pero sin conseguirlo, con contestaciones del tipo: *“Llena, menguante, mediante y creciente”*; *“Creciente, decreciente, menguante y llena”*, siendo la luna nueva la más difícil de nombrar por los estudiantes.

➤ **Ítem 6: Qué hechos pusieron en cuestión el modelo geocéntrico.**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	47,8%
Respuestas incorrectas	48,6%
Contesta con un hecho	3,6%
Contesta con dos hechos o más	0%

Tabla 26. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos Ítem 6

Ningún estudiante contesta correctamente la pregunta y solo cuatro (3,6%) dan una respuesta parcial contestando con un hecho que pusiera en cuestión el modelo geocéntrico.

De estos últimos, dos repuestas (1,8%) guardaban relación con el descubrimiento de los satélites de Júpiter y otras dos (1,8%) con la explicación de las órbitas planetarias.

El 48,5% del alumnado no contestó la pregunta o lo hizo de forma confusa, llegando a confundir en algunos casos el concepto de geocentrismo con el de Tierra plana con las frases: *“Que la Tierra no era redonda sino plana”*; *“Antiguamente se creía que la Tierra era rectangular y que al acabar la supuesta esquina... caías al vacío”*

Un 47,8% pertenecen a la categoría NS/NC.

➤ **Ítem 7. Explica como la observación de la Vía Láctea demuestra que estamos en una galaxia.**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	39,8%
Respuestas incorrectas	55,8%
Agrupación de estrellas en el plano de la Galaxia	4,4%

Tabla 27. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos Ítem 7

El 4,4% del alumnado contesta adecuadamente la pregunta, identificando de alguna manera el aumento de luminosidad en una franja del cielo, con un número mayor de estrellas en el plano galáctico.

El resto de estudiantes, un 55,8% contesta de forma confusa. Dentro de las respuestas erróneas, se han dado varios casos (12,4%) de confusión explícita de la Vía Láctea con el sistema solar con repuestas como las que siguen: *“La Vía Láctea es nuestro sistema solar, pero este junto con otros muchos sistemas solares forman nuestra galaxia”*; *“Hay miles de galaxias, y nosotros estamos metidos en una que se llama Vía Láctea, compuesta por varios planetas”*

El resto de respuestas erróneas caen en la categoría de NS/NC (39,8%)

- **Ítem 8. Si la distancia del Sol a Neptuno fuera como un campo de fútbol (110 m), ¿qué tamaño crees que tendría la Tierra? ¿y el Sol? ¿y Júpiter?**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	24,8%
Respuestas incorrectas	64,6%
La respuesta guarda las proporciones, aunque no da con la escala	8,8%
Acierta con las proporciones y con el orden de magnitud	1,8%

Tabla 28. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos Ítem 8

Un 1,8% del alumnado dieron una contestación correcta, con la escala y el orden de magnitud adecuados. Con criterios benignos, consideraremos también correctos a los que, a pesar de fallar el orden de magnitud, mantuvieron la proporción adecuada en los diámetros Tierra-Sol-Júpiter (8,8%).

La mayoría de estudiantes se encuentran en las categorías de NS/NC (24,8%) y respuestas incorrectas (64,6%), en la que las contestaciones erróneas ponen de manifiesto un profundo desconocimiento del sistema solar por parte de algunos estudiantes, como puede verse en la siguiente frase: *“La Tierra tendría más tamaño que Neptuno porque se encuentra más alejada del Sol... Júpiter es un planeta más pequeño porque se encuentra más cerca del Sol”*.

- **Ítem 9: Cita tecnologías que han contribuido al desarrollo de la astronomía.**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	28,3%
Respuestas incorrectas	9,7%
Cita una tecnología	34,5%

Cita dos tecnologías	27,4%
----------------------	-------

Tabla 29. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos ítem 9

Esta ha sido la pregunta que ha obtenido un mayor número de respuestas correctas, un 27,4% del total ha sido capaz de citar dos tecnologías (27,4%) y un 35,4% han citado al menos una.

Si atendemos al total de respuestas dadas (101) y las clasificamos, se observa que el Telescopio es la respuesta que todo el alumnado que ha contestado correctamente ha mencionado, con un 64,4% del total de las respuestas. Los satélites ha sido la siguiente tecnología con un 30,7% del total de respuestas. Como respuestas más minoritarias han quedado los radiotelescopios (3%), y otros instrumentos como el astrolabio (1 %) y las cartas estelares (1%).

Un 28,3% se encuentran en la categoría NS/NC.

➤ **Ítem 10: Explica con tus propias palabras la expansión del universo.**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	18,6%
Respuestas incorrectas	61,9%
Expansión a raíz de Big Bang	19,5%

Tabla 30. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos ítem 10

Aproximadamente uno de cada cinco (19,5%) contestan a la pregunta nombrando al Big Bang como origen de la expansión. Pero se trata de un conocimiento meramente nominal, porque nadie entre los encuestados fue capaz de explicar que el espacio y el tiempo se crean en el Big Bang, y que es el espacio el que se expande, no el universo el que se expande en un espacio preexistente, idea detectada en entrevistas realizadas.

Un 61,9% del alumnado da respuestas incorrectas, que pueden separarse en las siguientes categorías disjuntas de respuestas.

Un 1,8% dejan ver en su respuesta que el universo se expande dentro de algo, como en la frase: *“Es como una masa, dentro de un molde, que aumenta y se expande...”*

Un 3,5% se limita a nombrar la explosión y un 14,2% a decir existe una expansión.

Un 7,1% deja ver en su respuesta que existía algo antes, como muestran las respuestas: *“La expansión del universo fue debido a la concentración de gas y polvo que explotó y formó el Big Bang”*; *“...a causa de una explosión causada por unos gases que había en el espacio...”*

El resto (35,4%) contestan de forma confusa con frases como las que aparecen a continuación: *“Cada vez el universo va creciendo formando una supernova...”*; *“Cuando sucedió el Big Bang las rocas y todo lo que estalló se expandió por todas partes...”*; *“La expansión del universo yo creo que trata de llevar vida a otro lugar...”*

➤ **Ítem 11. ¿Qué pruebas hay de la expansión del universo?**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	35,4%
Respuestas incorrectas	39,8%
Cita una prueba de la expansión	23,9%
Cita dos pruebas de la expansión	0,9%
Cita tres pruebas de la expansión	0%

Tabla 31. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos ítem 11

Ningún estudiante es capaz de nombrar las tres grandes pruebas del Big-Bang (alejamiento de las galaxias, radiación de fondo y abundancia de núcleos ligeros).

Un 0,9% del alumnado cita dos pruebas de la expansión de la siguiente forma: *“Las galaxias se van separando unas de otras, como el espectro de la luz que nos llega de ellas nos marca con su aproximación al rojo. También cabe destacar la existencia de la radiación cósmica de fondo (el eco del Big-Bang)”*

Un 23,9% solo cita una de la pruebas, encontrándose divididas las respuestas entre el alejamiento de las galaxias (15%) y la radiación de fondo (8,9%).

La mayoría de estudiantes (39,8%) no reconoce ninguna prueba, quedando en la categoría de NS/NC un 35,4%.

➤ **Ítem 12. Comenta la frase: “La astronomía y la astrología son ciencias distintas”**

Categoría	Porcentaje
NS/NC	31,9%
Respuestas incorrectas	45,1%
Diferencia pero no señala que la astrología no es una ciencia	10,6%
Diferencia y señala que la astrología no es una ciencia	12,4%

Tabla 32. Porcentajes según puntuación cuestionario alumnos ítem 12

Un 12,4% del alumnado ha explicado correctamente la diferencia entre la astrología y la astronomía, señalando además que la primera no es una ciencia. Un 10,6 % del total explican las dos disciplinas pero no señalan el carácter científico de la astrología.

Un 31,9% del total, ha dejado la pregunta sin contestar, y entre los que dieron respuestas incorrectas (45,1%), son comunes las que diferencian sin saber exactamente en qué consiste cada una: *“Las dos son ciencias que estudian cosas relacionadas en el universo pero cada una se especializa en un tema”*; *“La astronomía se refiere a la Vía Láctea o a las galaxias y la astrología se refiere a los*

astros”; “La astronomía estudia los planetas y la astrología las estrellas”; “La astronomía es la ciencia de todo el universo y la astrología es la ciencia solo de las estrellas”

4.3.2 Resultados obtenidos mediante entrevistas

Los resultados cuantitativos del apartado anterior pueden completarse con los resultados cualitativos de este, fruto de las entrevistas realizadas a 5 alumnos siguiendo el cuestionario y que nos sirven para aclarar algunos ítems, profundizar en las dificultades del alumnado, etc. Hemos utilizado números para identificarlos y se indica el género del alumnado. El profesor hace referencia al propio investigador del trabajo.

➤ Ítem 1: Explica cómo te orientarías de noche y de día.

En esta cuestión se observa como alguno de los alumnos que no contestaron correctamente, a pesar de nombrar el Sol y la Polar en sus respuestas, tenían una carencia fundamental en la posición del Sol, que se pone de manifiesto al pedirle que se explique:

- *Profesor: ¿Puedes explicar un poco mejor esta frase (“...de día (me oriento) mediante el Sol”)?*
- *Alumno 1: No demasiado, basándome en por donde sale el Sol, creo que por el Oeste.*

O la matización de otro alumno al preguntarle por su respuesta incorrecta:

- *Profesor: ¿Describe el proceso de cómo orientarse mirando el Sol?*
- *Alumna 4: No sé orientarme con el Sol, sé mirar la hora.*

En lo que respecta a la Luna, uno de los alumnos que contesta incorrectamente, pero cita la Polar, ofrece la siguiente contestación:

- *Profesor: ¿Por qué nombras la Polar?*
- *Alumno 1: Porque nos podemos basar en esa estrella*
- *Profesor: ¿Por qué la Polar y no otra?*
- *Alumno 1: No lo recuerdo*

Lo que indica un conocimiento meramente nominal de la estrella Polar como forma de orientación. Parece así que la Polar crea cierta confusión, como se muestra claramente en la siguiente contestación:

- *Profesor: ¿Cuándo hablas de la estrella del Norte a qué te refieres?*
- *Alumna 2: La estrella más cercana a la Luna, la primera que sale por la noche*

Otro alumno que contesta de forma incorrecta, explica correctamente la localización de la estrella Polar, pero lo hace en la Osa mayor en lugar de la menor, y al pedirle una aclaración al respecto, insiste en el error de la siguiente forma:

- *Alumno 3: La Osa mayor es como un carro, es la última y alrededor de esa rotan todas.*

Todas estas respuestas incorrectas ofrecen una visión más clara de las confusiones del alumnado a la hora de trabajar un tema tan básico, y a la vez tan alejado de la sociedad actual, como es la orientación.

➤ **Ítem 2: Comenta la frase: “El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste”.**

Al preguntar a un alumno que ofreció una interpretación correcta a la frase “El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste”, pero orientada a indicar que esto solo es cierto en dos momentos del año, se obtuvo:

- *Profesor: ¿Notas algo más además de que el Sol no siempre sale por el Este?*
- *Alumno 1: No*
- *Profesor: ¿El Sol “sale” o “se pone”?*
- *Alumno 1: Como lo vemos nosotros sí, pero no es así.*

Lo que muestra que a poco que se insista el alumno sale al paso del lenguaje geocéntrico empleado en la expresión. Y es que como bien explican en la entrevista algunos alumnos que ya contestaron correctamente:

- *Alumna 2: El Sol no sale ni se esconde, o se hace de día o de noche.*
- *Alumno 3: Al estar girando el Sol parece que sale.*

➤ **Ítem 3: Señala aplicaciones que conozcas sobre la astronomía e indica en que observaciones se basan.**

No todo son olvidos, y otro alumno que contestó tan solo las aplicaciones responde lo siguiente, dando a entender un aprendizaje memorístico:

- *Profesor: ¿En qué se basa el establecimiento de un calendario?*
- *Alumna 5: Yo me estudié las aplicaciones, pero las observaciones no las sé*

➤ **Ítem 4: ¿Cómo podemos explicar astronómicamente las estaciones del año?**

Al solicitar a un alumno que dejó la pregunta en blanco más explicaciones, da una respuesta incorrecta insistiendo en considerar la distancia la causa de las estaciones, a pesar de reconocer una inclinación en el eje.

- *Profesor: ¿Por qué hay invierno y verano?*

- *Alumno 1: La Tierra al no estar en vertical, sino inclinada, al rotar cuando le da el Sol y dependiendo de la distancia a la que se encuentra. Si está más lejos será invierno y si no será verano.*

El mismo caso se obtiene en la contestación de un alumno que contestó de forma confusa en el ítem:

- *Profesor: ¿Por qué tenemos estaciones en la Tierra?*
- *Alumna 2: A medida que gira la Tierra estamos a una distancia del Sol y se producen unas condiciones u otras.*

Estas dos contestaciones pueden estar sugiriendo que la idea alternativa de la causa de las estaciones con la distancia, es difícil de superar, ya que responde a experiencias cotidianas: cuanto más cerca de la fuente térmica más temperatura.

➤ **Ítem 5: Explica las fases de la Luna.**

Al preguntarles a los alumnos sobre las fases de la Luna, aparece claramente la dificultad señalada de confundir las fases de la Luna con un eclipse:

- *Profesor: No me quedan claros tus dibujos*
- *Alumno 3: Está el Sol a nuestra espalda y la Luna está alineada con la Tierra, de tal forma que la Tierra tapa la luz que le llega a la Luna ... por tanto no la vemos, podemos apreciarla. Eso sería la Luna Nueva*
- *Profesor: ¿Cuál es la diferencia entre eso y un eclipse de Luna?*
- *Alumno 3: En lugar de estar alineados, tiene que estar tapando... mmmm.*

Incluso, aunque el profesor intenta aprovechar la entrevista para que se dé cuenta de su idea alternativa, el alumno persiste en la misma:

- *Profesor: ¿Cuándo se produce la Luna llena?*
- *Alumno 3: Cuando la Tierra no está tapando la luz solar que le llega a la Luna, pero claro, todas las lunas nuevas no son eclipses lunares. No sé muy bien explicarlo.*
- *Profesor: ¿Qué puede pasar para que no se aprecie la Luna Nueva?*
- *Alumno 3: Es imposible*
- *Profesor: ¿Entonces la Luna nueva solo se ve de noche?*
- *Alumno 3: Sí, no, no, no. La Luna nueva no recibe luz del Sol, pero el Sol no puede estar detrás de la Luna. No puede ser de noche...*
- *Profesor: ¿Entonces cuando se ve la Luna nueva?*
- *Alumno 3: De noche, de día lo que vemos es la Luna.*

O al preguntar por la luna nueva directamente, el alumno duda primero y acaba dando una respuesta que sugiere de nuevo un eclipse:

- *Alumna 5: Sí, es decir, no vemos la luna porque el Sol tapa a la Luna, entonces no brilla.*
- *Alumna 5: No, que la Luna tapa al Sol.*

Esta confusión se ha encontrado en más de una de las entrevistas, lo que indica una no comprensión de las fases de la Luna, en concreto de la luna nueva, y además, como ocurre en el siguiente caso, el alumno no es capaz de entender cuando sucede un eclipse.

- *Profesor: Al hablar de las fases de la Luna, nombras el eclipse. ¿Cuándo sucede un eclipse de Luna?*
- *Alumna 2: Cuando la Luna tapa el Sol*
- *Profesor: Eso es un eclipse de Sol*
- *Alumna 2: Cuando un planeta tapa a la Luna*

5. DISEÑOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS

Para contrastar la segunda hipótesis nos hemos planteado dos objetivos de investigación:

- ✓ Diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía en Ciencias para el Mundo Contemporáneo (que aproveche la historia de la ciencia para favorecer una mayor comprensión de cómo se resolvieron los problemas planteados).
- ✓ Evaluar en qué medida esta propuesta didáctica contribuye a superar las dificultades de aprendizaje detectadas en los alumnos.

5.1 Diseño de una propuesta didáctica para la enseñanza de la astronomía

La secuenciación de este tema en el currículum (Real Decreto 1467/2007, 2007; Decret del Consell 102/2008, 2008) y en la mayoría de los textos de Ciencias para el Mundo Contemporáneo responde a un criterio meramente cronológico. Empieza con lo más antiguo, el origen del universo, hace unos 13000 millones de años (Ma) para pasar a la génesis de los elementos, empezando con la nucleosíntesis primordial de elementos ligeros (H, D, T, He...) y siguiendo con la génesis de los restantes por las reacciones nucleares en el interior de estrellas masivas, cuya explosión (novas y supernovas), permite que los restantes elementos pesados formen parte de los sistemas de las nuevas generaciones de estrellas, en los que puede originarse la vida. Todo esto se sintetiza en la brillante expresión de que somos “polvo de estrellas” o cenizas o hijos de las estrellas (Sagan, 2004). Se completa el tema con la exploración del sistema solar.

La propuesta de currículo de Ciencias para el Mundo Contemporáneo sigue con la formación de la Tierra, hace unos 4500 Ma mostrando la diferenciación en capas y su dinámica, explicada con la tectónica global. En la Tierra, hace unos 3500 Ma se produce el origen de la vida. Es un hecho que la vida evoluciona, lo que lleva a introducir la mejor teoría para explicarlo, la selección natural darwiniana y su explicación genética actual. Por último, hace 2 Ma aparecen los primeros homínidos inteligentes, el *Homo habilis*.

Pero esto es contradictorio con otros objetivos y contenidos de la materia, a saber, que el alumno entienda como la ciencia ha llegado a demostrar esas determinadas proposiciones, es decir, como se realiza el trabajo científico.

Es decir, el alumnado debe comprender qué hipótesis, observaciones, experimentos, etc., llevan del universo del sentido común centrado en la Tierra, con 7 “errantes” y un millar de estrellas “fijas”, pequeño (con dimensiones menores que las del actual sistema solar) y “creado” hace unos 6000 años, a un universo poblado por 10^{11} galaxias (universos islas), con un tamaño de 10^{26} m y una duración de 13000 millones de años. Debe comprender que la vida, en toda su actual diversidad de especies, no fue creada, como antaño se creía, junto con el universo hace 6000 años, porque hay evidencias de que las especies evolucionan a partir de otras anteriores, y de que esta evolución requiere mucho tiempo (miles de Ma), lo que exigió que los físicos tuviesen que buscar nuevos procesos que explicasen la edad de la Tierra.

Los estudiantes suelen mostrar interés acerca de los distintos cuerpos del sistema solar y del universo, sus relaciones, cómo ha evolucionado históricamente la concepción del universo, así como a aspectos relativos a la utilidad y a las repercusiones que tiene todo esto en el ámbito tecnológico, en la vida diaria, etc.

Se trata, pues, de iniciar el estudio de un capítulo excepcional desde el punto de vista no solo científico sino didáctico, en el que se abordarán con detenimiento, como iremos viendo, aspectos que van a contribuir de forma relevante a mostrar una imagen de la ciencia contextualizada, en toda su riqueza y complejidad: aprovechando los acontecimientos históricos para una mayor comprensión de los conocimientos científicos, considerando los problemas planteados que llevaron a la construcción de dichos conocimientos, abordando las dificultades ideológicas con las que, a lo largo de muchos años, numerosos científicos tuvieron que enfrentarse (persecuciones, condenas...) y, muy en particular, aproximándonos al surgimiento de un nuevo paradigma, basado en unas mismas leyes para todo el universo y fruto del trabajo de muchas personas (Copérnico, Kepler, Galileo, Newton y un largo etcétera), que unificaba la mecánica terrestre y celeste, poniendo fin a una de las barreras que había impedido el avance científico a lo largo de más de veinte siglos. Y resaltar, insistimos, sus enormes implicaciones en nuestras concepciones del universo y en las actuales formas de vida. De este modo, los estudiantes pueden asomarse a aspectos fundamentales de la actividad científica y tecnológica que a menudo son ignorados en la enseñanza y que pueden contribuir a mostrar su naturaleza de desafío apasionante.

El programa diseñado consta de una secuencia de actividades basadas en la propuesta de Solbes, Marco, Tarín y Traver (2010a). La Tabla 33 muestra como las actividades propuestas se relacionan con los objetivos y dificultades.

OBJETIVOS	DIFICULTADES	ACTIVIDADES RELACIONADAS
1. Comprender aplicaciones básicas de la astronomía y su importancia para la supervivencia de la especie.	1. No tienen claro el papel de la astronomía en la orientación, agricultura, etc., porque en las sociedades avanzadas se vive al margen de la naturaleza.	A.1, A.2, A.8, A.9, A.10, A.11, A.12, A.13, A.14, A.33, A.47
2. Familiarizar con los métodos de trabajo de la astronomía de observación visual (observaciones astronómicas diurnas y nocturnas, gnomon, etc.).	2. Desconocen los procedimientos implicados y, además, la mayoría de la población que vive en ciudades, no puede disfrutar el cielo nocturno.	A.3, A.4, A.5, A.6, A.7, A.24, A.25, A.27
3. Explicar observaciones del sistema Tierra-Sol-Luna (las estaciones, las fases de la Luna y las horas en las que se observa, etc.).	3. Atribuyen las estaciones a la distancia Tierra-Sol y las fases a eclipses de la Luna, y no tienen claro como pasar del SR en que se representan las posiciones de la luna al SR en que se realizan las observaciones.	A.6, A.12, A.13, A.14
4. Familiarizar a los alumnos con los procedimientos de los científicos, que elaboran modelos para explicar los problemas hasta que surgen dificultades que obligan a cambiarlos, en este caso, el geocéntrico, heliocéntrico, newtoniano, etc.	4. No comprenden que algunos enunciados solo cobran sentido en un determinado modelo ni los grandes avances que suponen (la gravitación universal rompe la barrera cielos tierra, el heliocentrismo que la Tierra no es un SR privilegiado, etc.).	A.18, A.19, A.20, A.21, A.22, A.23, A.24, A.25, A.26, A.27, A.31, A.32, A.33, A.36
5. Modelizar el sistema solar a escala.	5. Supera con mucho la escala humana y, en prácticamente ningún sitio existen representaciones adecuadas.	A.40

6. Comprender, a partir de observaciones astronómicas, que vivimos en una Galaxia y su forma aproximada.	6. No tienen claro que la Vía Láctea es el plano de la Galaxia.	A.34, A.35
7. Valorar la importancia de la técnica para el desarrollo de la astronomía y viceversa.	7. No ven las conexiones de la astronomía con la tecnología y la sociedad.	A.28, A.44, A.45, A.46, A.47, A.48, A.49
8. Comprendan que hay diversos tipos de estrellas, que evolucionan y que juegan un importante papel en la vida en el universo.	8. Concepción estática y no evolutiva de las mismas, debido a las grandes escalas temporales implicadas.	A.38 (C.1 a C.25)
9. Comprender la teoría del Big Bang y las pruebas de la misma, así como que requiere refinamientos para explicar nuevas observaciones.	9. No ven que el Big Bang creó el espacio y no tuvo lugar en él.	A.41, A.42, A.43,
10. Comprender que el universo está formado por miles de millones de galaxias, ninguna de las cuales ocupa un lugar central, a gran escala es homogéneo e isótropo.	10. Superan con mucho la escala humana.	A.35, A.39
11. Valorar la contribución de la astronomía al pensamiento crítico.	11. No ser conscientes de que las verdades científicas tienen que luchar contra los poderes y concepciones establecidos y que muchos enunciados supuestamente científicos no se pueden probar (la influencia de los astros en la vida humana, la existencia de los ovni, etc.).	A.15, A.16, A.17, A.23, A.26, A.29, A.30, A.47, A.48, A.49,

Tabla 33. Actividades relacionadas con los objetivos y dificultades

1. ANTECEDENTES: PRIMERAS IDEAS SOBRE EL UNIVERSO

1.1. *Las ideas de los pueblos antiguos*

Conviene comenzar este apartado con una actividad que ponga de manifiesto que todos los pueblos y culturas tienen astronomía y la razón de ello. Se pueden utilizar textos históricos (como los de la fundamentación) o literarios (como *El eclipse* de Monterroso).

La primera razón son sus aplicaciones, importantes para la supervivencia. Facilitar la orientación, medir el paso del tiempo, establecer calendarios, regular la agricultura. También, porque la mayor parte de los pueblos y civilizaciones, a lo largo de la historia, han elaborado modelos sobre el universo, tratando de explicar los movimientos del Sol, la Luna o las estrellas. El estudio de la astronomía, del movimiento de los astros, jugó desde el principio un importante papel en las diferentes religiones y culturas que intentan explicar nuestro origen.

A.1. Lee el siguiente fragmento de “Tintín en el Templo del Sol” (Figura 5) y comenta hasta qué punto es posible una historia como la anterior. ¿Qué refleja?

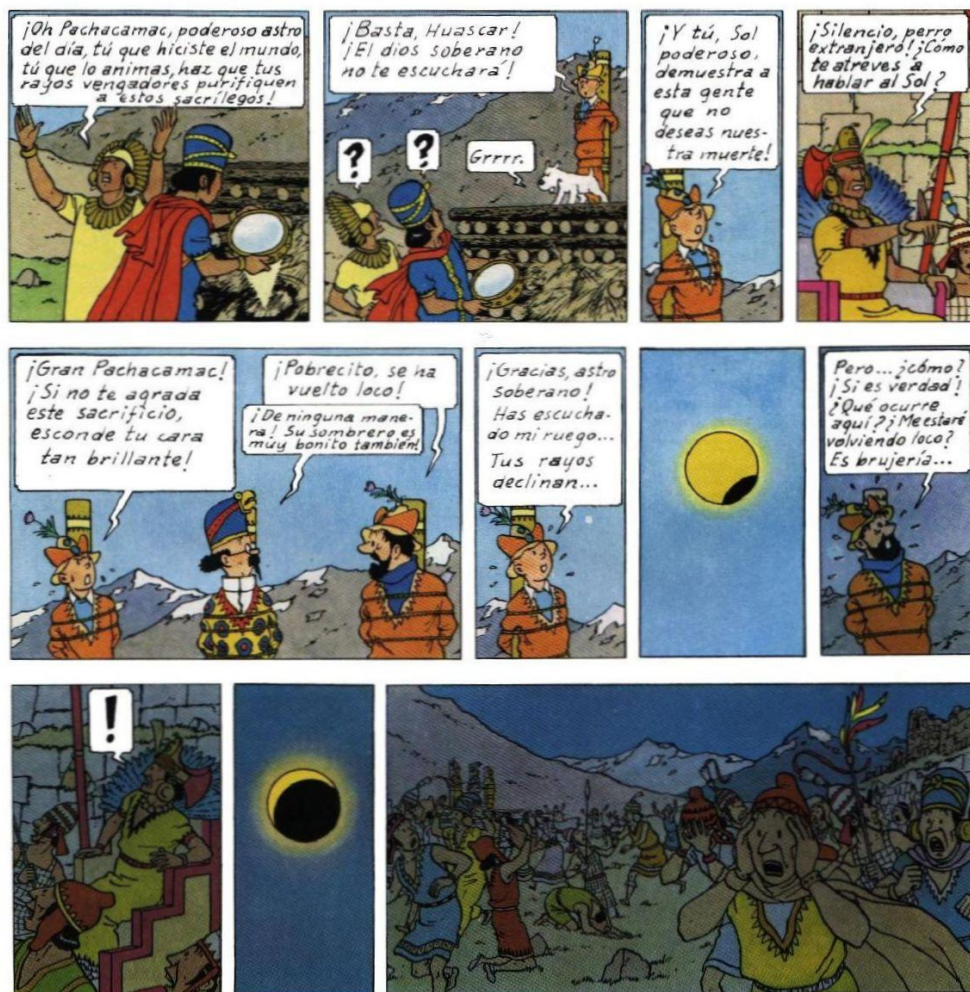


Figura 5. Extracto del comic "Tintín en el templo del Sol"

A.2. Lee el siguiente cuento (Figura 6) del escritor Tegucigalpense (Honduras) Augusto Monterroso (1921-2003) y contesta las cuestiones que aparecen a continuación:

Cuando fray Bartolomé Arrazola se sintió perdido aceptó que ya nada podría salvarlo. La selva poderosa de Guatemala lo había apresado, implacable y definitiva. Ante su ignorancia topográfica se sentó con tranquilidad a esperar la muerte. Quiso morir allí, sin ninguna esperanza, aislado, con el pensamiento fijo en la España distante, particularmente en el convento de los Abrojos, donde Carlos Quinto condescendiera una vez a bajar de su eminencia para decirle que confiaba en el celo religioso de su labor redentora.

Al despertar se encontró rodeado por un grupo de indígenas de rostro impenetrable que se disponían a sacrificarlo ante un altar, un altar que a Bartolomé le pareció como el lecho en que descansaría, al fin, de sus temores, de su destino, de sí mismo. Tres años en el país le habían conferido un mediano dominio de las lenguas nativas. Intentó algo. Dijo algunas palabras que fueron comprendidas.

Entonces floreció en él una idea que tuvo por digna de su talento y de su cultura universal y de su arduo conocimiento de Aristóteles. Recordó que para ese día se esperaba un eclipse total de sol. Y dispuso, en lo más íntimo, valerse de aquel conocimiento para engañar a sus opresores y salvar la vida.

-Si me matéis -les dijo- puedo hacer que el sol se oscurezca en su altura.

Los indígenas lo miraron fijamente y Bartolomé sorprendió la incredulidad en sus ojos. Vio que se produjo un pequeño consejo, y esperó confiado, no sin cierto desdén.

Dos horas después el corazón de fray Bartolomé Arrazola chorreaba su sangre vehemente sobre la piedra de los sacrificios (brillante bajo la opaca luz de un sol eclipsado), mientras uno de los indígenas recitaba sin ninguna inflexión de voz, sin prisa, una por una, las infinitas fechas en que se producirían eclipses solares y lunares, que los astrónomos de la comunidad maya habían

Figura 6. Extracto del texto "El Eclipse" de A. Monterroso

C.1. Obtención de información: ¿Qué información nos da sobre la época y el lugar? ¿Cuáles pueden ser los indígenas que aparecen en el cuento de A. Monterroso? ¿Cuál puede ser el modelo astronómico de fray Bartolomé?

C.2. ¿Cuál es la intención de fray Bartolomé?

C.3. ¿Cuál es la idea principal de Monterroso o, en otras palabras, por qué Tintín y fray Bartolomé tienen resultados tan diferentes? ¿Quién se ajusta más a la realidad?

C.4. El texto de Monterroso pone de manifiesto que todos los pueblos y culturas tienen astronomía. ¿Por qué?

Comentarios A.1 y A.2. Las primeras actividades sirven de iniciación al tema. La primera es el cómic de Tintín y la segunda un breve relato de Monterroso y su objetivo es la comprensión lectora. En la primera cuestión se pide que obtengan información a partir de la imagen. En la segunda, que elaboren una interpretación sobre la intención del personaje, que es demostrar a los incas su dominio de la naturaleza y la reflexión y valoración sobre el contenido del texto, que desarrolla una creencia bastante extendida en occidente, que “nosotros” sabemos astronomía y los indígenas (incas en esta historieta) no y, en consecuencia, que nuestro conocimiento de la naturaleza nos hace superiores a otros pueblos.

1.2. La observación del cielo

A continuación, merece la pena realizar algunas observaciones que nos familiaricen con la visión del firmamento que nuestros antecesores pudieron obtener y que influyeron en sus creencias sobre el universo. Contemplar el paisaje celeste, además, es algo que merece la pena en sí mismo, por razones puramente estéticas.

A.3. Realiza una observación nocturna de corta duración. Debe realizarse el dibujo de al menos dos agrupaciones de estrellas para tratar de identificarlas el próximo

día en la clase con la ayuda de un planisferio. Es necesario anotar la hora de la observación. En el caso de observar algún objeto llamativo en el cielo también conviene anotarlo.

Comentarios A.3. Los primeros resultados que cabe esperar de muchos estudiantes en esta actividad van a mostrar la dificultad de realizar observaciones en la gran mayoría de nuestras poblaciones. Ello puede dar pie al inicio de una discusión acerca de los problemas que plantea la contaminación atmosférica y, muy particularmente, la lumínica, que nos está privando literalmente del paisaje celeste, además de afectar a los ciclos vitales de las plantas y los animales que viven en las ciudades, incluidos los seres humanos. Se trata de un aspecto sobre el que incidiremos en una próxima actividad.

Resulta muy ilustrativo del empobrecimiento que sufre el paisaje celeste al que tenemos acceso, cotejar los mapas celestes dibujados por los estudiantes con un planisferio (a estos efectos puede ser conveniente utilizar algunos de los programas informáticos existentes). Con ayuda del mismo se puede mostrar la existencia de agrupaciones de estrellas o constelaciones, descritas desde los tiempos más remotos y que han jugado un papel esencial para orientar a los viajeros, aunque ese paisaje varía, por supuesto, según estemos en el hemisferio Norte o en el Sur.

Esta "recuperación" del paisaje celeste se convierte en una actividad particularmente atractiva para muchos estudiantes. Es conveniente, pues, incluir actividades como las siguientes y, a ser posible, organizar observaciones en lugares alejados de las ciudades.

Cómo utilizar un planisferio celeste

A.4. Aunque en la actualidad es difícil observar el cielo nocturno en las ciudades, por la contaminación atmosférica y lumínica, debida a la luz ambiental, localizad en un planisferio las estrellas y constelaciones de la actividad anterior. Localiza

también algunas de las principales (las Osas Mayor y Menor, Casiopea, Orión, etc.) y realiza un dibujo en tu cuaderno de al menos 4 de ellas. (Visita el anexo I para imprimir un planisferio celeste de fácil construcción)

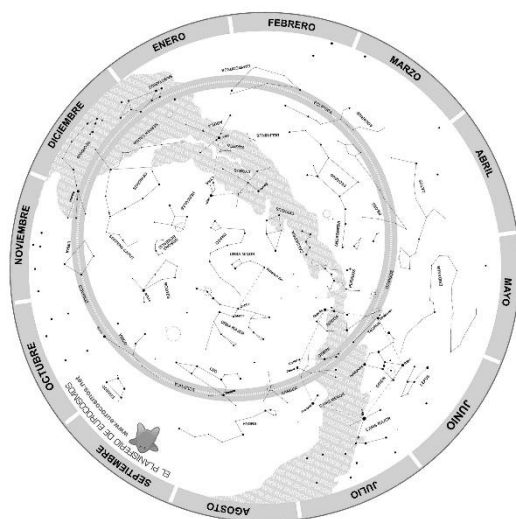


Figura 7. Planisferio celeste

Comentarios A.4. Utilizar un planisferio no es tarea complicada, pero requiere una explicación inicial de la proyección en un plano de la bóveda celeste y de cómo localizar las estrellas según la época. El vídeo http://youtu.be/mSelT_bJ6UY muestra las instrucciones para la utilización del planisferio realizadas por los diseñadores de este planisferio en particular.

A.5. ¿Qué idea acerca del movimiento de los astros sugieren observaciones del cielo como las que hemos realizado? Con otras palabras, ¿qué idea pudieron formarse al respecto los antiguos observadores del cielo?

Comentarios A.5. Una de las observaciones de mayor interés realizada desde los tiempos más remotos es que la mayoría de estrellas no parecen cambiar su posición relativa. Estas denominadas estrellas fijas forman en el cielo un esquema

inmutable. Los babilonios, dieron nombres a las constelaciones o grupos visibles de ese esquema, aunque nosotros usamos los nombres griegos o sus traducciones latinas. También hay muchos nombres de estrellas procedentes de los árabes (Alcor, Mizar, Rigel, etc.), que fueron excelentes astrónomos.

Son conocidos, pues, diferentes nombres que a lo largo de siglos fueron dándose a los grupos de estrellas. Si nos situamos en el hemisferio Norte, por ejemplo, podemos mencionar algunos de los que se daban a la Constelación Boreal, llamada en Norteamérica el Gran Cucharón, en Francia La Cacerola, en Inglaterra El Arado, en China el Burócrata Celeste, en la Europa Medieval, El Carro y en la antigua Grecia, La cola de la Osa Mayor.

Las constelaciones parecen girar en círculo con centro en un punto llamado polo celeste. Las que se encuentran cerca de ese polo describen círculos completos que pueden observarse. Las que están lejos de él desaparecen bajo el horizonte, pero suponemos que completan su revolución fuera de nuestra vista. El polo queda bien marcado por la estrella Polar, que es fácil de localizar prolongando la línea recta originada por las dos estrellas posteriores de la Osa Mayor. Estas observaciones sistemáticas fueron explicadas con un modelo celeste en el que la mayoría de los astros parecían fijos sobre una superficie esférica que giraba alrededor de la Tierra. Un sencillo planetario de juguete (Figura 8) puede ilustrar el movimiento de la bóveda celeste en torno al Polo Norte Celeste.



Figura 8. Planetario de juguete

Hay en cambio siete cuerpos celestes visibles a simple vista cuyas posiciones varían en relación con las estrellas fijas. En primer lugar el Sol que parece moverse por el esquema de las estrellas fijas. Su trayectoria se llama eclíptica. El zodíaco son las constelaciones por donde pasa la eclíptica. En realidad no son doce, sino trece y no corresponden exactamente a los meses: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario, Piscis y Cetus. Esta simple observación astronómica también es contradictoria con la astrología. También se puede observar fácilmente la Luna que presenta una gran variabilidad y por ello se les puede plantear la siguiente actividad.

Con estas actividades se pretende que los estudiantes comiencen a familiarizarse con el cielo nocturno, así como con el uso del planisferio, de programas informáticos (Stellarium, Celestia, Cartes du ciel, Google Sky, etc.) e, incluso, de telescopios si se dispone de ellos. Algo que deberá ir realizándose a lo largo del tema y, en particular en los últimos apartados, cuando abordemos una

visión más actual del universo, ya que en el planisferio se presentan también nebulosas, cúmulos de estrellas y galaxias, etc. También establecer el hecho fundamental del giro aparente de la inmensa mayoría de los objetos celestes en torno a la Tierra, con la sola excepción de los planetas.

La Luna

A.6. Observa diariamente la Luna, hasta que se repita el ciclo Lunar, y sitúa en un cuadro la posición aproximada (Este-Sur-Oeste), la hora y la forma de la Luna (Figura 9. Visita el apéndice I para imprimir una plantilla para realizar las anotaciones). Una vez finalizado el ciclo Lunar explica por qué suceden las fases de la Luna con el modelo heliocéntrico.

Figura 9. Plantilla para dibujar las observaciones de la Luna

Comentarios A.6. Actualmente se le presta tan poca atención al firmamento que hay alumnos de 2º de bachillerato que se sorprenden de que la Luna pueda ser vista de día. Como la observación dura 28 días, se les puede pedir que al finalizarla la expliquen mediante el modelo heliocéntrico. Para realizar la explicación muchos alumnos son capaces de representar la Tierra con la Luna girando a sus alrededor, en 4 u 8 posiciones, pero no son capaces de explicar con ello sus observaciones (salvo la Luna llena y nueva). El problema reside en que esta representación es la que se realizaría desde un sistema de referencia exterior al plano definido por el sistema Tierra-Luna (si está por encima del Polo Norte verá la Tierra girar en sentido antihorario). En cambio, sus observaciones se han realizado en un sistema de referencia sobre la superficie terrestre. Hay que ayudarles a que se imaginen situados sobre el círculo que representa la Tierra y que comprendan que cada posición corresponde a una hora determinada. Por otra parte deben darse cuenta donde está situada su izquierda y derecha para que expliquen que parte de la Luna está iluminada. Una vez finalizadas las observaciones y explicadas las fases con el modelo heliocéntrico, puede utilizarse la animación disponible en <http://astro.unl.edu/naap/lps/animations/lps.swf> para su visualización (Figura 10).

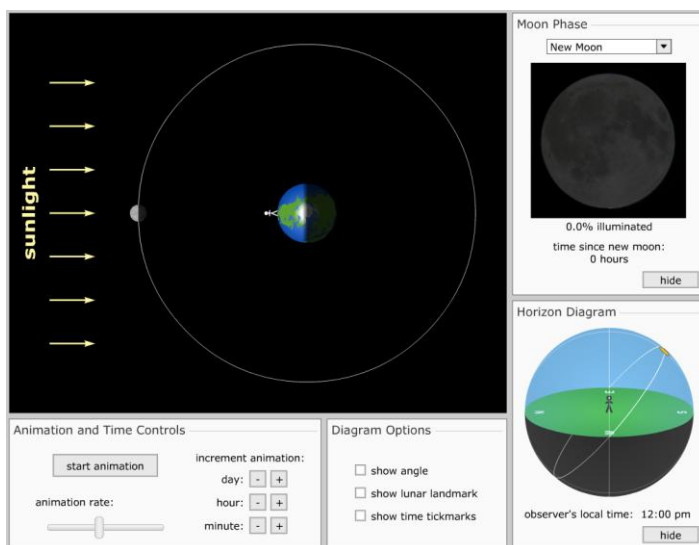


Figura 10. Captura de una simulación de las fases lunares

Otra animación de las fases de la Luna que permite calcular la hora a la que se da cada una, además de cambiar el observador de Norte a Sur, se encuentra disponible en <http://ilovemedi.es/swf/fases-lunares.swf>.

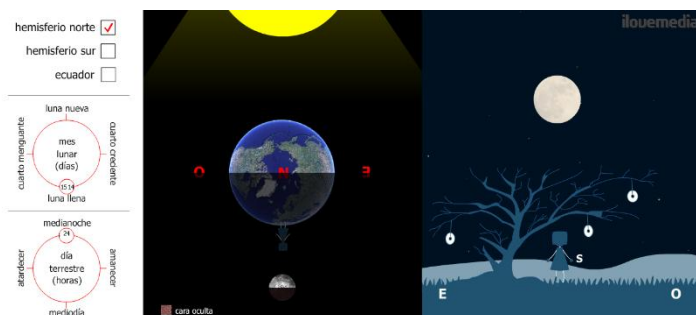


Figura 11. Captura de otra simulación de las fases lunares con elección del hemisferio del observador

Los planetas

A.6. Bis. ¿Existe algún punto en el cielo nocturno además de la Luna que destaque de alguna forma sobre las estrellas?

Comentarios A.6. bis. Conviene además llamar la atención sobre otros cinco objetos celestes, visibles a simple vista, conocidos como Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, cuyas trayectorias no parecen tan regulares y que fueron denominadas por ello "planetas", palabra que en griego significa "errantes", es decir, objetos con una trayectoria errática, poco regular. Como sabemos, esta "pequeña irregularidad" estuvo llamada a jugar un papel fundamental en la dramática evolución de las concepciones acerca del lugar de la Tierra en el universo (muy ligadas a las creencias religiosas), por lo que debe ser destacada. En total 7 objetos. Para observar los planetas conviene utilizar planisferios informáticos como "Stellarium" que representan en qué posición están a una hora determinada. Con el fin de ilustrar esta trayectoria errática puede visualizarse el

vídeo <http://youtu.be/1oS1GxbRMns> realizado con el software Stellarium, en la que se observa el movimiento de retrogradación de Marte.

Al margen de establecer este hecho fundamental del giro aparente de la inmensa mayoría de los objetos celestes en torno a la Tierra -con la sola excepción de los planetas-, con estas actividades se pretende que los estudiantes comiencen a familiarizarse con el cielo nocturno, así como con el uso del planisferio, de programas informáticos e, incluso, de telescopios si se dispone de ellos. Algo que deberá ir realizándose a lo largo del tema y, en particular en los últimos apartados, cuando abordemos una visión más actual del universo, ya que en el planisferio se presentan también nebulosas, cúmulos de estrellas y galaxias, etc.

Contaminación lumínica

A.7. ¿Qué problemas plantea la contaminación lumínica y cuáles pueden ser las soluciones que se deberían adoptar?

Comentarios A.7. Esta actividad nos ofrece una buena oportunidad para hacer referencia y contribuir a la reflexión en torno a la gravedad de la contaminación atmosférica y, muy en particular, lumínica (Zuza & Alduncin, 2009). Esta última genera un problema, al que no se suele prestar atención y que, sin embargo, no solo altera en las ciudades el ciclo vital de los seres vivos, sino que además impide, como han denunciado los astrónomos, la observación del cielo, por lo que nos vemos privados de ese elemento esencial del paisaje que durante miles de años ha ofrecido el cielo estrellado. Por eso, la UNESCO, ha declarado formalmente que el cielo oscuro es un derecho de las generaciones futuras (Vilches & Gil, 2003). Esta puede ser una buena ocasión para insistir en la gravedad de las múltiples formas de contaminación y referirse a la situación de emergencia planetaria que ha llevado a Naciones Unidas a instituir una Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014). Para ilustrar el concepto de contaminación lumínica sirva la Figura 12 como comparativa entre los años 1992 y 2010, en la que las zonas brillantes

corresponden a emisiones provocadas desde tierra por la iluminación procedente de actividades humanas.

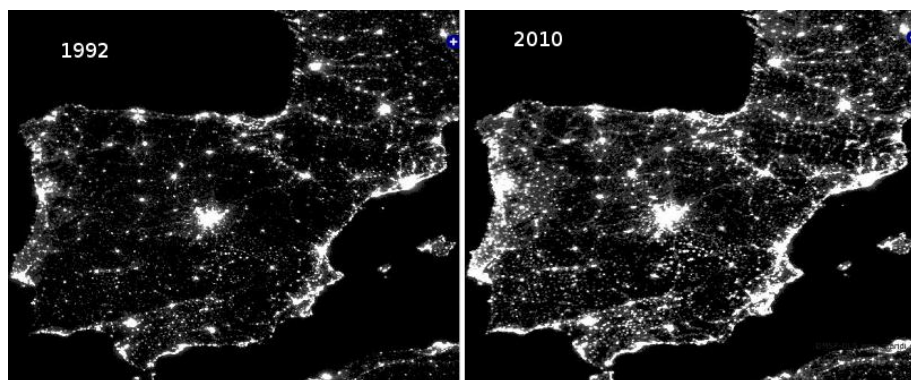


Figura 12. Contaminación lumínica en los años 1992 y 2010

2. LA ASTRONOMÍA Y SUS APLICACIONES

Ya hemos visto en el apartado anterior que todas las civilizaciones y culturas tuvieron astronomía por la importancia de sus aplicaciones. En este apartado se profundiza en las mismas.

2.1. La astronomía y sus aplicaciones

La orientación

A.8. ¿Cómo nos orientamos? ¿Qué importancia práctica tiene la orientación?

Comentarios A.8. La orientación se realiza de día con el Sol (los puntos cardinales). Hay que tener en cuenta que en ambos hemisferios el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste, pero en el hemisferio Norte el Sol va por el Sur y en el hemisferio sur por el Norte. De noche con estrellas como la cruz del Sur o la polar (ver Figura 13), en los respectivos hemisferios. Este puede ser un buen momento para explicar cómo localizar la estrella Polar, mediante el programa Stellarium o con algún vídeo como el que aparece en <http://youtu.be/An4U6cyVKe8> . Orientarse con los astros

es básico para viajar, sobre todo, cuando no hay accidentes geográficos (desiertos, mar, etc.). Aunque para ello, también necesitamos conocer la posición, es decir, la latitud y la longitud. En arquitectura, edificios religiosos como el Panteón, las iglesias románicas, etc. se orientan hacia el Este para que los primeros rayos de luz iluminen determinadas zonas. En las zonas frías los pueblos se orientan al sur. En las marítimas hacia el mar, para aprovechar las brisas. Incluso actualmente, un edificio bien orientado.

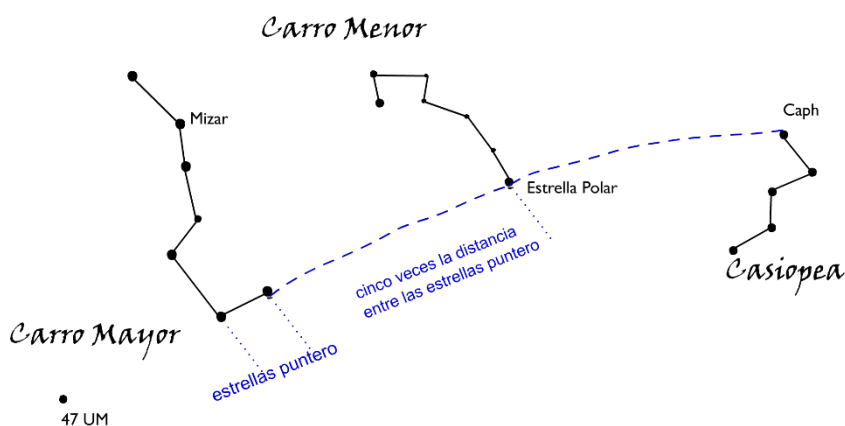


Figura 13. Localización de la estrella Polar

A.9. Busca información (localización, época, pueblo que lo construyó y relación con la astronomía) sobre algunas construcciones relacionadas con la astronomía como por ejemplo: Stonehenge, Abusimbel, Rueda De La Medicina, Monasterio Petra, Toros De Guisando, Kiva De Los Anasazi, El Caracol, etc.

Comentarios A.9. La Tabla 34 resume la información sobre estas construcciones, citando su situación más o menos exacta, la época aproximada de su construcción y la cultura o pueblo que las erigió. En esta actividad se puede mostrar también el video disponible en <http://www.exploratorium.edu/chaco/HTML/rinconada.html>, que muestra el momento en el que el rayo de Sol entra en el Kiva de los Anasazi.

CONSTRUCCIÓN	SITUACIÓN	ÉPOCA APROX.	CULTURA O PUEBLO
Stonehenge	Inglaterra	3000 a. n. e.	Neolítico
Eje principal alineado en la dirección de salida del Sol en solsticio de verano.			
Abusimbel		XIII a. n. e.	Egipcios
Día del jubileo del faraón el Sol entra en un templo iluminando a los Dioses.			
Rueda Medicina		600 a. n. e.	Saskatchewan
Mirando de un montículo a otro se observa las direcciones de salida y puesta del sol en el solsticio de verano, y ortos estrellas (Sirio, ...)			
Monasterio de Petra	Jordania	VII a. n. e.	
Orientado hacia el ocaso de varios astros (Mercurio, Venus, Luna, Sol).			
Toros De Guisando	Ávila	I y II a. n. e.	Vetones
Se encuentran orientados de manera casi perfecta al equinoccio.			
Kiva De Los Anasazi	N. América	X n. e.	Anasazi
Un rayo de Sol entraba al amanecer por una de las ventanas para posarse sobre un nicho especial alrededor del 21 de Junio.			
Observatorio El Caracol	Chichen Itzá	1000 n. e.	Mayas
Observatorio astronómico.			

Tabla 34. Información sobre algunas construcciones astronómicas

El calendario

A.10. ¿Qué relación guardan las periodicidades de nuestro calendario (día, mes, año) con fenómenos astronómicos?

Comentarios A.10. Las regularidades astronómicas han permitido establecer el calendario a lo largo de la historia de la humanidad. Así, la rotación de la Tierra sobre su eje define el día y la rotación de la Tierra alrededor del Sol, el año. La rotación de la Luna alrededor de la Tierra, el mes de 28 días de las civilizaciones que seguían un calendario lunar. La regularidad de solsticios y equinoccios hizo que otras civilizaciones se guiasen por el Sol. Vieron así la necesidad de que los meses tuviesen 30 días y, algunos 31, en lugar de 28. En esa época, los habitantes de Mesopotamia realizaron precisas mediciones astronómicas. El año constaba de 360 días dividido en doce meses de 30 días cada uno. Otra de sus aportaciones fue la

división del día en doce horas dobles y de la hora en minutos y segundos sexagesimales.

A.11. ¿Cuál es el origen de los nombres de los días de la semana?

Comentarios A.11. En el latín los nombres de los días de la semana invocaban a las divinidades Lunes (día de la Luna), Martes (día de Marte), Miércoles (día de Mercurio), Jueves (día de Júpiter), Viernes (día de Venus), Sábado (día de Saturno) y Domingo (día del Sol), estos dos últimos no reconocibles en el castellano pero si en el inglés. En el vídeo <http://youtu.be/puio4uar4Ms>, el profesor de filología Jose Enrique Gargallo explica el origen astronómico de los nombres de los días de la semana.

A.12. ¿Todos los planetas del sistema solar poseen estaciones? ¿Cómo se distingue en la Tierra una estación de otra?

Comentarios A.12. Todos los planetas del sistema solar tienen estaciones, causadas por la inclinación de su eje o la forma de su órbita (Harvey, 2004). La Figura 14 muestra a Venus y Júpiter, los cuales a pesar de tener estaciones, tienen poca inclinación en sus ejes.

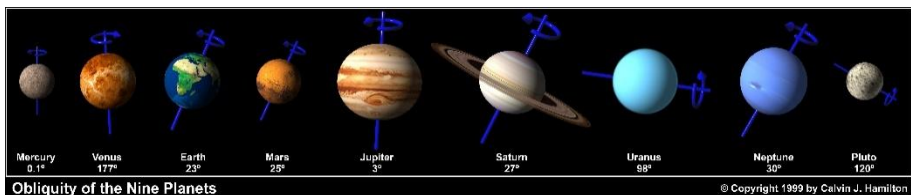


Figura 14. Inclinación nueve planetas

En la Tierra, las estaciones se deben únicamente a la inclinación del eje puesto que la órbita es prácticamente circular. Puede utilizarse a modo de recordatorio de las estaciones el vídeo <http://youtu.be/o67ocCnKL4o> extraído de la serie documental

de la BBC "El universo", del capítulo "El sistema solar Interior", que muestra la causa de las estaciones en la Tierra. Las estaciones se pueden determinar actualmente simplemente determinando la variación del número de horas de luz solar al año: el día más corto corresponde al solsticio de invierno y el más largo al de verano, siendo los equinoccios los días en las que hay las mismas horas de luz que de oscuridad (López-Gay, Jiménez Liso, Osuna, & Martínez-Torregrosa, 2009)

Los planetas cuyo eje no está inclinado no tienen estaciones, aunque sí variaciones climáticas fijas en latitud. J. Verne en "El secreto de J. T. Maston" narra cómo los protagonistas "De la Tierra a la Luna", intentan cambiar la inclinación del eje de la Tierra, para cambiar el clima de una región terrestre, lo que está consiguiendo la humanidad por otras vías.

A.12. (Complementaria) ¿Qué tipo de sombra daría un palo clavado en el suelo (gnomon) a medio día en los solsticios de invierno y verano? ¿Y en los equinoccios de primavera y otoño? ¿Qué otras aplicaciones históricas ha tenido la sombra del gnomon?

Comentarios A.12. (Complementaria) En la antigüedad, al no disponer de relojes, se establecieron con la sombra del gnomon (o de obeliscos) que en los solsticios de verano e invierno es la más corta y larga del año, respectivamente. En los equinoccios, como su nombre indica, es igual. Este fue el origen del reloj de Sol (cuando se coloca en las paredes se le da la inclinación de la latitud del lugar). En este punto puede ser interesante sugerir la construcción de un reloj solar utilizando una plantilla impresa en cartulina Figura 15. (Visitar Anexo I)

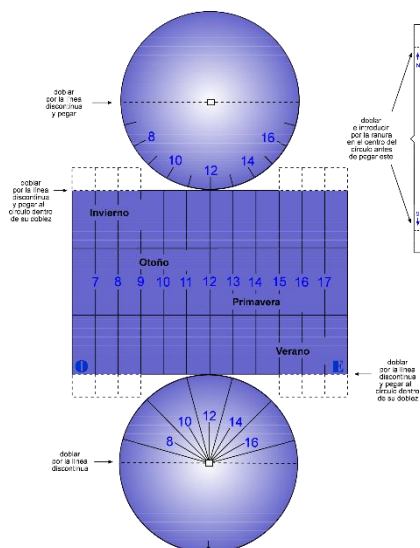


Figura 15. Plantilla para construcción reloj solar

También lo utilizó Eratóstenes para determinar el radio de la Tierra. Así, midiendo las sombras producidas por un gnomon, a mediodía del solsticio de verano, comprobó que en Alejandría los rayos del Sol forman un ángulo de 0.126 rad ($7,2^\circ$) con la vertical. En Siena (próxima a la actual presa de Aswan), el Sol no producía sombras, es decir, casi estaba en la vertical. Sabiendo que Siena se encuentra 800 km al Sur de Alejandría, y como $\text{arco} = \text{radio} \times \text{ángulo (rad)}$, determinó el radio de la Tierra, $r=800/0.126=6349 \text{ km}$. También se les puede plantear a los estudiantes como una actividad que, en contra de lo que algunos creen, pone de manifiesto que en la antigüedad no solo se sabía que la Tierra no era plana, sino que se conocía con bastante aproximación su radio y, a partir de él, los de la Luna y el Sol y sus distancias relativas, que estimó Aristarco (310-230 a.C.), a partir de los eclipses. Al comprobar que el Sol era mayor que la Tierra, planteó el primer sistema heliocéntrico conocido. Carl Sagan en el capítulo I de su serie Cosmos, “En la orilla del océano cósmico”, describe este experimento y lo simula con una maqueta.

A.13. Utilizando la aplicación libre Stellarium sitúate en el tiempo y lugar de los antiguos egipcios (año 2780 a. n. e., antigua ciudad de Menfis: 29°58'33.744"N; 31°7'49.476" E) y localiza el orto helíaco (momento en el que una estrella comienza a ser visible inmediatamente antes de que salga el Sol) de la estrella Sirio. Los egipcios utilizaron este fenómeno para predecir la llegada del desbordamiento del Nilo y prepararse para el momento de la siembra.

Comentarios A.13. Una de las aplicaciones de la astronomía a lo largo de la historia es la creación de calendarios, y conviene poner de manifiesto como las regularidades en los fenómenos celestes han contribuido al desarrollo de la civilización. Un caso particular es el de la estrella Sirio y la fijación del calendario egipcio. El calendario que utilizamos actualmente proviene del calendario civil egipcio. El pueblo Egipcio, como otros pueblos de la antigüedad, basaba su economía en la agricultura, y predecir la llegada de las estaciones o las fechas más óptimas para la recogida y siembra tenía una importante repercusión.

Los egipcios usaban el desbordamiento del Nilo para preparar las tierras de alrededores del cauce para la siembra, así que era de vital importancia conocer este momento con cierta precisión. Quiso la casualidad que este momento coincidiera con el orto helíaco de la estrella más brillante del cielo, Sirio, que los griegos conocieron con el nombre de Sothis y los egipcios con  (Martínez Usó, 2007). Así, los sacerdotes egipcios tomaron el principio del año justo en el momento en el que Sirio aparecía por el horizonte Este poco antes de la salida del Sol. Comprobaron también que esto tenía lugar cada 365 días y 6 horas, pero establecieron la duración del año en 365 días. Esto provocó que el orto helíaco de Sirio y el solsticio de verano no volviese a coincidir hasta pasados 1460 años, periodo al que llamaron *Gran Año del Ciclo de Sothis*.

Si tomamos el comienzo del calendario Egipcio en el año 2780 a.C. y elegimos la ciudad de Menfis como lugar de observación, podemos ver la salida de

Sirio tal y como la vieron los antiguos utilizando un programa de simulación astronómica. Con este fin vamos a utilizar el programa libre Stellarium, disponible en <http://www.stellarium.org/es/>. Como todos los programas planisferio, necesitaremos introducir la fecha y el lugar de la observación. El resultado final puede verse en el vídeo <http://youtu.be/mHxrUAV2e08> (Visitar Anexo I para una descripción detallada de la realización).

A.14. ¿Con que festividades de nuestro calendario coinciden aproximadamente los solsticios y equinoccios? ¿Cuál puede ser la causa?

Comentarios A.14. El equinoccio de primavera coincide con la Semana Santa de nuestro calendario, el solsticio de verano con la noche de San Juan, el equinoccio de otoño no tiene fiesta en nuestro calendario pero sí en otras culturas como la judía con Yom Kipur, y el solsticio de invierno en el que tiene lugar la Navidad. Esto es debido a que el cristianismo hizo suyas las fiestas paganas que se celebraban en esas fechas.

2.2. Astronomía vs Astrología

A.15. ¿A qué puede atribuirse la creencia de que los astros influyen sobre la vida de las personas? ¿Qué valor puede darse hoy a dichas creencias?

Comentarios A.15. La influencia que tenían los astros en la agricultura y, por tanto, en la supervivencia de las civilizaciones antiguas, hizo que se extrapolara esta influencia a otros aspectos de la vida como el devenir de las guerras, la caída de reyes o dinastías y en general los asuntos de las personas. Incluso en algunas civilizaciones se les consideraba como dioses. Esta actividad, permite mostrar que las observaciones astronómicas estuvieron asociadas, desde sus orígenes, a confusas creencias astrológicas, en las que vale la pena detenerse, dado que la astrología mantiene hoy su presencia (y, desgraciadamente, su atractivo) en ciertos sectores culturales. Puede visualizarse el vídeo

http://www.pawean.com/MVM/Video_7.html, que relaciona la religión con la astronomía.

A.16. ¿Sigues tu horóscopo? ¿Por qué?

A.17. ¿Qué hechos y razones conoces que pongan de manifiesto el carácter acientífico de la astrología?

Comentarios A.17. Es preciso denunciar el carácter anticientífico de estas creencias, que siguen siendo avaladas por algunos medios de comunicación publicando horóscopos cada semana, realizando programas sobre astrología, personas que predicen el futuro, médiums, etc. Y aunque muy a menudo dichos programas tengan una intención lúdica, son muchos los ciudadanos que los toman en serio. Pueden realizarse un par de actividades dirigidas a que el alumno comprenda el carácter acientífico de la astrología:

- En la primera de ellas se prepara una tabla con los horóscopos del día anterior de tres medios de comunicación en tres columnas, pero se omite el signo zodiacal al que corresponden. Se les pide que escojan el horóscopo que crean que más coincide con lo que les sucedió ese día y después se desvelan las respuestas y se ponen en común las coincidencias.
- Otra prueba un poco más elaborada consiste en solicitar días antes de los estudiantes su nombre, fecha y hora de nacimiento, con el pretexto de que un astrólogo va a realizarles la carta astral personalizada. Se preparan los sobres personalizados con el nombre del alumno y en el interior se coloca el texto (ver Figura 16) utilizado por el psicólogo B. R. Forer (The fallacy of personal validation: A classroom demonstration of gullibility. , 1949) y se entrega a los alumnos. Una vez estos han leído para sí mismos el texto se les pide que puntúen el grado de acierto en una escala de 1 a 5 (la puntuación en el estudio original fue de 4,26).

Ahora ya pueden leer el texto en voz alta y darse cuenta de que todos tienen el mismo texto, que con seguridad, tan acertado había estado.

Tienes la necesidad de que otras personas te aprecien y admiren, y sin embargo eres crítico contigo mismo. Aunque tienes algunas debilidades en tu personalidad, generalmente eres capaz de compensarlas. Tienes una considerable capacidad sin usar que no has aprovechado. Disciplinado y controlado hacia afuera, tiendes a ser preocupado e inseguro por dentro. A veces tienes serias dudas sobre si has obrado bien o tomado las decisiones correctas. Prefieres una cierta cantidad de cambios y variedad y te sientes defraudado cuando te ves rodeado de restricciones y limitaciones. También estás orgulloso de ser un pensador independiente; y de no aceptar las afirmaciones de los otros sin pruebas suficientes. Pero encuentras poco sabio el ser muy franco en revelarte a los otros. A veces eres extrovertido, afable, y sociable, mientras que otras veces eres introvertido, precavido y reservado. Algunas de tus aspiraciones tienden a ser bastante irrealistas.

Figura 16. Texto extraído de distintos horóscopos por Bertram R. Forer

Señalar además que el zodiaco, que son las constelaciones por donde pasa la eclíptica (la trayectoria del Sol sobre el esquema de estrellas fijas), en realidad no son doce, sino trece y no corresponden exactamente a los meses: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario, Piscis y Cetus. Al comienzo del capítulo 3 de su serie Cosmos, “La armonía de los mundos”, Carl Sagan señala la diferencia entre astronomía y astrología, nombrando el ejemplo de gemelos y mellizos, que a pesar de haber nacido bajo el mismo signo y ascendente, tienen vidas distintas.

3. DEL SISTEMA GEOCÉNTRICO AL MODELO HELIOCÉNTRICO

3.1. El sistema geocéntrico

Argumentos a favor del modelo geocéntrico

A.18. Los antiguos griegos pensaban que la Tierra era el centro del universo, estaba inmóvil, y que el Sol y el resto de los astros se movían a su alrededor. ¿En qué se basaban para pensar así, además de en sus observaciones astronómicas?

Comentarios A.18. Algunos estudiantes se refieren también, además de a las observaciones astronómicas que venimos estudiando (estas sencillas observaciones pueden realizarse mediante el programa Stellarium, tal y como muestra el vídeo <http://youtu.be/DwT5ch2Xh74>, en el que se observa el movimiento aparente de los astros en la bóveda celeste), a otras experiencias cotidianas como, muy particularmente, el hecho de que no notemos el movimiento de la Tierra. El reposo de la Tierra aparecía, efectivamente, como algo "evidente" e incuestionable y estaba relacionado con otras evidencias "de sentido común", como la tendencia al reposo de los objetos terrestres, mientras los astros giraban indefinidamente (respecto a si la Tierra permanece inmóvil o no, el visionado de un fragmento de la película Ágora <http://youtu.be/gtSD8ShDxEc>, en la que Hypatia se realiza esta misma pregunta, puede arrojar algo de luz a la cuestión). La aceptación general de este sistema geocéntrico se mostraba muy claramente en el mismo lenguaje ordinario, lleno de expresiones como, por ejemplo, "el Sol sale por...". Los estudiantes comprenden así que estas ideas no eran descabelladas, sino que se apoyaban, como hemos visto, en experiencias de la vida cotidiana.

Conviene tener presente, por otra parte, que si bien los estudiantes no sostienen hoy el modelo geocéntrico, ya que conocen los movimientos de la Tierra, así como la estructura del sistema solar, sí poseen, como iremos viendo en el desarrollo del capítulo, concepciones que les hacen pensar que la explicación del movimiento de los cuerpos en la Tierra y sus proximidades es distinta a la de los cuerpos muy

alejados de ella, manteniendo todavía, en alguna medida, una clara diferencia entre el mundo celeste y terrestre. Conviene, por lo tanto, que vayan saliendo a la luz sus concepciones, de las que nos ocuparemos a lo largo del desarrollo del capítulo. De este modo el estudio de la evolución de los modelos acerca de la estructura del universo representa para ellos un verdadero enriquecimiento, que no tiene lugar cuando nos limitamos a transmitir los conocimientos actualmente aceptados.

El modelo de Aristóteles

Una exposición ya muy elaborada de este sistema geocéntrico la encontramos en Aristóteles (384-322 antes de nuestra era), que no se limitó a explicar las observaciones astronómicas, sino que integró gran parte de los conocimientos de la época acerca del comportamiento de los objetos celestes y terrestres.

A.19. ¿De qué está hecha la materia terrestre según Aristóteles? ¿Y la celeste? ¿Cómo se mueven los cuerpos terrestres y los celestes?

Comentarios A.19. Básicamente dicho sistema sostenía que la Tierra está en reposo en el centro del universo y que todos los astros giran con movimientos circulares en torno a la misma. La aparente inmutabilidad del firmamento, en contraste con los continuos cambios observados, condujo a una visión jerárquica, con una clara distinción entre el mundo sublunar (lugar de imperfección, de objetos corruptibles, que tienden al reposo en ausencia de fuerzas) y del mundo celeste (lugar de perfección formado por esferas incorruptibles, eternas, dotadas de un movimiento perenne, circular uniforme, también perfecto).

Puede ser interesante detenerse en mostrar, proporcionando alguna información elemental al respecto (Mason, 1985), cómo el sistema explicaba los cambios observados en la Tierra a partir de la existencia y combinación de cuatro elementos o "esencias" (tierra, agua, aire y fuego), así como la perennidad del

mundo celeste, formado por una "quinta esencia" o éter, de perfección absoluta. Para que haya movimiento se necesita fuerza (forzados) y un cuerpo más pesado cae más rápido por ser la fuerza mayor.

A.20. Explica que se necesita para mantener un cuerpo en movimiento.

Comentarios A.20. La respuesta habitual es que para mantener un cuerpo en movimiento es necesaria la intervención de una fuerza. Ejemplos como el de la mesa de aire o una pista de hockey hielo pueden servir para aclarar la situación.

A.21. Dejamos caer dos cuerpos de distinta masa simultáneamente desde la misma altura. ¿Qué podemos decir de los tiempos respectivos de llegada a tierra?

Comentarios A.21. Ya propuesta por Galileo Galilei, esta experiencia fue llevada a cabo en la Luna por los astronautas del Apollo XV, lanzando en ausencia de aire un martillo y una pluma (http://youtu.be/Or7H8SE_cqY). Esta experiencia puede realizarse en el aula dejando caer una hoja de papel y un libro, primero por separado y luego la hoja de papel encima del libro, comprobando así la independencia de la masa con tiempo de caída.

El modelo de Ptolomeo

Este sistema fue perfilándose con numerosas contribuciones, particularmente en el mundo de la astronomía. Muy importante, a ese respecto, es el período alejandrino, etapa de esplendor de Alejandría y su Museo (siglos III y II antes de nuestra era) que fue en realidad la primera universidad que ha existido en el mundo. En ella estudiaron y trabajaron la mayor parte de los científicos de este periodo, como Euclides, Aristarco, Arquímedes, Eratóstenes, Hiparco, Herón, Ptolomeo y la propia Hypatia, filósofa y astrónoma que murió lapidada a causa del fanatismo del populacho alentado por los monjes.

A.22. Busca información en Internet sobre estos personajes y sus contribuciones, en particular, de Hypatia y Ptolomeo.

Comentarios A.22. Todo ello es una buena ocasión para mostrar el carácter colectivo de la ciencia, fruto del trabajo de muchas personas, así como las dificultades con que se enfrentaron las mujeres en ese ámbito. En la Tabla 35 se citan algunas de las contribuciones de los personajes anteriores. Además de citar estas contribuciones, vale la pena señalar el papel de Hypatia como mujer astrónoma y última directora de la biblioteca de Alejandría, a la que Amenábar dedicó la película *Ágora* recientemente; y a Ptolomeo que desarrolló el sistema geocéntrico en su libro de astronomía, denominado por los árabes "Almagesto" ("el mejor de los libros") que lo expandieron por toda la Europa medieval. El modelo de Ptolomeo puede visualizarse en el vídeo <http://youtu.be/-JUKlyjOX3Q>.

NOMBRE	SIGLO	ALGUNA DE SUS CONTRIBUCIONES
Euclides	325-265 a.n.e.	El padre de la geometría, defendió el sistema heliocéntrico.
Aristarco de Samos	310-230 a.n.e.	La primera persona que propone el modelo heliocéntrico.
Arquímedes	287-212 a.n.e.	«Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje igual al peso del fluido que desaloja».
Eratóstenes	276-194 a.n.e.	Midió el diámetro de la Tierra, afirmando que esta era redonda.
Hiparco	190-120 a.n.e.	Primer catálogo de estrellas, división del día en 24 horas, precesión de los equinoccios, etc.
Herón	10-70	Ingeniero e inventor.
Ptolomeo	100-170	Astrólogo y astrónomo, propuso un modelo de universo muy preciso.
Hypatia	355-415	Primera mujer matemática, inventó el astrolabio y dirigió la biblioteca de Alejandría.

Tabla 35. Contribuciones de personajes de la Antigüedad

A.23. ¿Cómo se explica la gran aceptación del modelo geocéntrico y su persistencia a lo largo de más de veinte siglos?

Comentarios A.23. Para explicar la vigencia del modelo geocéntrico durante más de 20 siglos, es preciso referirse, en primer lugar, a su compatibilidad, que ya hemos señalado, con el sentido común. Pero es preciso tener presente también

que dicho sistema encajaba perfectamente con la tradición, la filosofía, la religión y, en general, todos los ámbitos culturales de la Europa influida por las culturas griega, latina y árabe.

La Iglesia Católica, por ejemplo, favorecía el sistema aristotélico-ptolemaico pues su visión se acomodaba muy bien a la idea cristiana que diviniza el cielo como lugar de perfección, la Tierra como lugar central, donde viven los seres humanos (únicas criaturas creadas a la imagen de Dios) y nace Jesucristo, y a la vez como lugar de pecado y corrupción. Esta visión estratificada del universo, daba soporte a la propia jerarquización social, es decir, el sometimiento de los "inferiores" (esclavos, mujeres, simples campesinos...) a los "superiores" (hombres libres, clero, nobleza...).

Es muy conveniente detenerse en discutir estas implicaciones del modelo en el ámbito de las relaciones CTS (ciencia-tecnología-sociedad), que permiten comprender por qué fue tan difícil su superación y los numerosos obstáculos a los que hubo que enfrentarse para el establecimiento de un nuevo modelo.

El modelo geocéntrico tuvo vigencia durante casi veinte siglos, desde Aristóteles hasta el siglo XVI, donde empezó a desmoronarse debido a la imposibilidad de resolver algunos problemas en el marco de dicho modelo. En el año 1543, pocos días después de la muerte de su autor, se publicó la obra *"De revolutionibus orbium coelestium"* (Sobre las revoluciones de las esferas celestes) de Nicolás Copérnico (1473-1543), astrónomo y sacerdote nacido en Torun (Polonia). En ella se proponía un nuevo modelo del universo, donde la Tierra perdía su papel central, inmóvil, y era el Sol el que constituía el centro del universo. Este nuevo modelo, denominado heliocéntrico y desarrollado e impulsado después por otros muchos científicos, fue atacado durante más de cien años, siendo perseguidos, y muchas veces condenados, sus defensores.

3.2. El sistema heliocéntrico

A.24. Indaga y expón cuáles pudieron ser las razones que llevaron a Copérnico a cuestionar el sistema geocéntrico.

Comentarios A.23. Merece la pena detenerse en las razones que hicieron poner en duda el sistema geocéntrico. El hecho principal que llevó a cuestionarlo fue la sistemática discrepancia entre los datos proporcionados por observaciones astronómicas cada vez más precisas y las predicciones de dicho sistema para el movimiento de los planetas. La idea de que todo astro debía girar con movimiento circular uniforme en torno a la Tierra, o en torno a puntos que giraran en torno a la misma, no permitía realizar predicciones aceptables, pese a que en la época de Copérnico se había llegado a suponer la existencia de hasta 70 (!) movimientos circulares simultáneos para explicar la trayectoria de Marte. Esta complejidad puede ilustrarse con un curioso vídeo, en el que con epiciclos y deferentes puede construirse prácticamente cualquier órbita (silueta personaje Homer Simpson) en <http://youtu.be/NvCdsnyx7Qk> (Ginnobili & Carman, 2008)

La complejidad creciente del modelo para explicar la trayectoria errática de los planetas llevó a Copérnico a buscar alguna otra posible explicación. Resulta interesante señalar que Copérnico recurrió a la historia para ver si alguien había imaginado otras posibles explicaciones del movimiento de los astros. Así lo reconoce en *De Revolutionibus* y se refiere a que autores griegos como Nicetas o Aristarco habían ya imaginado que el Sol podía ser el centro del universo y que todos los demás astros, incluida la Tierra, giraban en torno al mismo.

Copérnico mostró en su libro que, si se aceptaba esta estructura del universo, se reducía muy notablemente el número de movimientos circulares necesarios para explicar el movimiento de cada planeta y dar cuenta de los aparentes retrocesos. (Holton & Bruhs, 1976)

Aquí pueden describirse las características del modelo heliocéntrico: El Sol ocupa un lugar central, la Tierra y el resto de planetas en órbitas circulares, las estrellas en posiciones fijas mucho más lejos que Sol y la Tierra gira sobre sí misma. O puede visualizarse el breve fragmento del universo Mecánico en el que se describe el sistema de Copérnico <http://youtu.be/g6EOyRnVRPk>.

A.25. El modelo heliocéntrico fue atacado, entre otros, con los siguientes argumentos: Si la Tierra se mueve, ¿no debería quedarse retrasado un objeto que cae hacia el suelo? y ¿no deberíamos ver que la posición relativa de las estrellas se modifica al irse desplazando la Tierra a lo largo de su trayectoria? Plantea posibles respuestas para cada uno de dichos argumentos.

Comentarios A.25. Aquí pude citarse el fragmento de la película *Ágora* visto con anterioridad <http://youtu.be/gtSD8ShDxEc>, en el que Hypatia se realiza esta misma pregunta.

Copérnico era consciente, sin embargo, de que sus ideas iban a despertar un amplio rechazo y eso le llevó a contemplar posibles argumentos en contra y a responder cuidadosamente a cada uno de ellos.

Respecto a la modificación de la posición relativa de las estrellas Copérnico argumentó que si la circunferencia que recorre la Tierra es muy pequeña en comparación con la distancia a la que se encuentran las estrellas, es lógico que no se aprecien cambios en las posiciones relativas de las mismas. Respecto a que si la Tierra se moviera el aire tendería a quedarse atrás, nos remitimos al principio de superposición de movimientos establecido por Galileo, aunque Copérnico no pudo utilizar argumentos tan claros y que cualquier observación de la caída de un objeto en el interior de un vehículo en movimiento confirma: no hay retraso alguno.

Pero el principal argumento en contra del modelo heliocéntrico fue de tipo ideológico, al considerar que dicho modelo contradecía a la Biblia, a la que las autoridades religiosas consideraban expresión de la verdad revelada e

incuestionable en todos los ámbitos (Sánchez Ron J. M., 1999) . Fue este dogmatismo religioso el que generó la mayor oposición a las nuevas ideas, perseguidas por el recientemente aparecido protestantismo, por la Inquisición, que incluyó De Revolutionibus (disponible en http://la.wikisource.org/wiki/Liber:De_revolutionibus_orbium_coelestium) en el Index Librorum Prohibitorum (Disponible en <http://fondosdigitales.us.es/fondos/libros/462/15/nouus-index-librorum-prohibitorum-et-expurgatorium/>), como “falso y, además, opuesto a las sagradas escrituras” y por algunas comunidades judías, que prohibieron la enseñanza de la teoría (Holton & Bruhs, 1976). Y ello pese a que Copérnico hizo notables esfuerzos para convencer de que el nuevo modelo todavía era más acorde con la grandeza de la obra divina y mantuvo la creencia en la mayoría de las tesis del modelo geocéntrico, como la idea de la perfección de los movimientos circulares de los astros, etc. Tuvo lugar así una dramática confrontación entre quienes defendían la libertad de pensamiento e investigación y quienes negaban dichas libertades en nombre de dogmas religiosos. Una confrontación que marcó el nacimiento de la ciencia moderna y en cuyo análisis merece la pena detenerse mínimamente.

A.26. Pese a la oposición religiosa, muchos astrónomos comprendieron el valor de las ideas de Copérnico y contribuyeron a confirmarlas y extenderlas, aunque ello les enfrentó a persecuciones y condenas. Consulta algún texto de historia de la ciencia para conocer qué otros astrónomos contribuyeron a cuestionar el sistema geocéntrico y a mostrar la validez del modelo heliocéntrico. Indica cuáles fueron sus principales aportaciones.

Comentarios A.26. Con esta actividad se pretende, en primer lugar, que los estudiantes se asomen a la historia de la ciencia mediante libros (Holton & Bruhs, 1976; Sagan, 2004; Holton & Roller, 1963) y conozcan su capacidad para contextualizar el desarrollo científico y mostrar su carácter de aventura colectiva. El establecimiento del modelo heliocéntrico fue, efectivamente, el trabajo de

muchas personas, que tuvieron que enfrentarse a serios problemas, ya que sus ideas cuestionaban, como ya hemos señalado, más allá del sistema geocéntrico, la visión jerárquica de la sociedad, que negaba la libertad de pensamiento e investigación en nombre de los dogmas religiosos. Puede recomendarse la visualización del capítulo 3 de la serie Cosmos, “La armonía de los mundos” en el que se describe la vida de Johannes Kepler.

Entre las principales aportaciones es preciso mencionar a Johannes Kepler (1571-1630) y a Galileo (1564-1642). El primero fue un astrónomo alemán que trabajó con el también astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) y utilizó sus datos para perfeccionar el sistema heliocéntrico y para buscar regularidades en el sistema solar, que le condujeron a enunciar, tras años de trabajo, tres importantes leyes que llevan su nombre. La primera de ellas señalaba que las órbitas de la Tierra y demás planetas alrededor del Sol no son circulares sino elípticas, encontrándose el Sol en uno de sus focos. De este modo Kepler fue más lejos que el propio Copérnico en el cuestionamiento del modelo geocéntrico, pues se atrevió a imaginar movimientos celestes que no poseían la perfección del circular uniforme. Pero las observaciones astronómicas se ajustaban mucho mejor a órbitas elípticas que a las circulares y eso prevaleció, a los ojos de Kepler, sobre la aceptación de la perfección de los cielos. La segunda establecía que la velocidad areolar de un planeta (área barrida por el vector de posición del planeta respecto al Sol en la unidad de tiempo) es constante, lo que supone que el planeta se mueve más rápidamente cuando está más cerca del Sol. Y la tercera, que el periodo de un planeta aumenta cuando lo hace el radio medio de su órbita, cumpliéndose la relación $T^2 = K \cdot R^3$.

A.27. Una gran contribución al nuevo modelo heliocéntrico fueron las observaciones astronómicas de Galileo (1564-1642). El telescopio, que él mismo construyó, mejorando el inventado con otros fines por los fabricantes de lentes holandeses (denominado “tubo ampliador”), le permitió a Galileo descubrir, entre

otras cosas, la existencia de manchas en la superficie del Sol, cráteres y montañas en la Luna y la existencia de satélites en torno a Júpiter. Comenta qué aspectos clave del modelo geocéntrico resultaban cuestionados por las observaciones realizadas por Galileo con la ayuda del telescopio.

Comentarios A.27. De las observaciones realizadas por Galileo con ayuda del telescopio, las correspondientes a las irregularidades (relieves) de la Luna (Puede consultarse el texto y los dibujos originales en <http://www.wdl.org/es/item/4170/>) o a las manchas solares (que le permitieron además demostrar que el Sol giraba alrededor de su eje en veintisiete días) venían a cuestionar la supuesta perfección atribuida a los objetos celestes y con ello la idea de una drástica separación entre el Cielo y la Tierra. Estableció, por tanto, la mutabilidad en el cielo que negaban los aristotélicos y ptolemaicos. En cuanto a los satélites de Júpiter (Puede consultarse el texto y los dibujos originales en <http://www.wdl.org/es/item/4183/>), junto con el giro del Sol, echaban por tierra la tesis básica del Sistema Geocéntrico de que todos los objetos celestes debían girar en torno a la Tierra. También observó que Venus presentaba fases análogas a las lunares, lo que le permitió afirmar que los planetas brillaban por la luz reflejada del Sol. Como consecuencia de todo ello pensó que había llegado el momento de defender el nuevo modelo públicamente y con ese fin fue publicando sus hallazgos en opúsculos que denominó Sidereus Nuncius (El mensajero sideral), cuya aparición generaba apasionados debates. Puede ser interesante, a este respecto, leer algún fragmento de la obra Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, a la que nos referiremos más adelante, sobre las repercusiones de sus observaciones de los cometas y las manchas solares (ver pp. 52-56 del libro citado de (Sánchez Ron J. M., 1999).

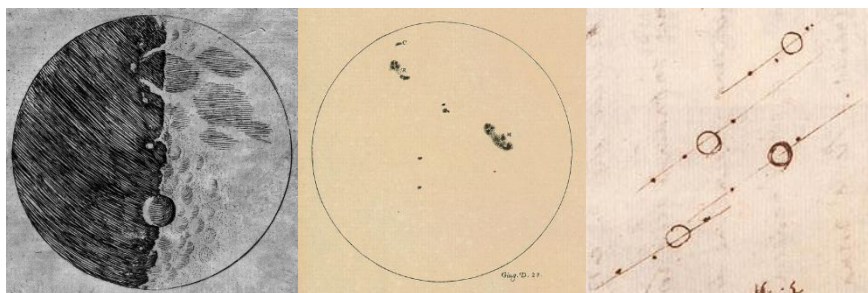


Figura 17. Ilustraciones originales de Galileo sobre las irregularidades de la Luna, las manchas del Sol y los satélites de Júpiter, de izquierda a derecha.

Y volviendo a las contribuciones de Galileo, cabe destacar los trabajos que realizó, para determinar la longitud en la tierra. La latitud calcula a partir del ángulo que forma la polar con el horizonte, pero no era fácil determinar la longitud. Por eso, los imperios marítimos (España, Inglaterra, Holanda, etc.) ofrecieron premios copiosos a quien lo consiguiese. Se trató de hacerlo utilizando medidas astronómicas, pero la mayoría fracasaron. Galileo propuso utilizar el eclipse de los satélites de Júpiter, descubiertos por él mismo, pero no se podía basar en ellos la navegación, porque las observaciones nocturnas solo se pueden hacer una parte del año. Además, es necesario que el cielo esté limpio y el movimiento del barco hace desaparecer Júpiter del campo visual del telescopio. Después de 1650 se utilizó su propuesta pero solo para hacer cálculos en el suelo, lo que permitió a los cartógrafos dibujar los mapas del mundo con mayor exactitud.

A.28. Señala el papel jugado en la revolución científica por el telescopio y otros instrumentos. ¿Cuáles podrías mencionar?

Comentarios A.28. Además del telescopio tenemos el microscopio de Hooke, la bomba de vacío de von Guericke, el barómetro de Pascal, el termómetro, etc. que dan origen a nuevas ciencias. Esta actividad puede ser una buena ocasión para poner de manifiesto las complejas interacciones entre la ciencia y la tecnología, saliendo al paso de la consideración simplista de la tecnología como mera aplicación de la ciencia (Maiztegui, y otros, 2002). En efecto, fue la existencia del

telescopio (un artefacto tecnológico) lo que hizo posible observaciones fundamentales en apoyo del modelo heliocéntrico. Y esto es algo que encontramos a menudo en el desarrollo de la ciencia y sobre lo que conviene insistir siempre que haya ocasión. Por eso es necesario clarificar, atendiendo al desarrollo histórico de ambas, que la actividad técnica ha precedido en milenios a la ciencia, que la tecnología no es, pues, un subproducto de la ciencia, un simple proceso de aplicación del conocimiento científico para la elaboración de artefactos. Y no se trata tan solo de señalar el impulso que éste u otros desarrollos tecnológicos pueden dar a la ciencia, como es el caso que nos ocupa del telescopio de Galileo. El punto de partida de la Revolución Industrial, por ejemplo, fue la máquina de Newcomen, que era fundidor y herrero. Como afirma Bybee (2000): 'Al revisar la investigación científica contemporánea, uno no puede escapar a la realidad de que la mayoría de los avances científicos están basados en la tecnología'. Y ello cuestiona la visión elitista, socialmente asumida, de un trabajo científico-intelectual por encima del trabajo técnico.

Al margen de sus notables contribuciones a la comprensión del comportamiento de la materia, celeste o terrestre, su vida y obra han quedado como paradigmas del enfrentamiento entre dogmatismo y libertad de investigación. Puede ser interesante a ese propósito acercarse a la vida de Galileo, descrita en innumerables biografías, documentales, obras de teatro (Galileo Galilei de Bertolt Brecht (Brecht, 1995), o películas (de Liliana Cavani o de Joseph Losey).

A.29. Realizar un debate en clase sobre los problemas con los que tuvo que enfrentarse Galileo, después de ver fragmentos de alguna película o documental sobre su vida.

Comentarios A.29. La visión de películas, o fragmentos de las mismas, como las mencionadas en los comentarios de la actividad anterior, o bien el capítulo III de la serie Cosmos de Carl Sagan ("La armonía de los mundos"), pueden contribuir a que los estudiantes conozcan la apasionante aventura que supuso el surgimiento de la

ciencia moderna. Cuando en 1632 Galileo, como consecuencia del permiso que le concedió el Papa Urbano VII para discutir el sistema copernicano en un libro "siempre que diese una igual e imparcial discusión de los argumentos a favor del sistema ptolemaico" (Sánchez Ron J. M., 1999), publica su obra "Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano" (1632), en italiano y en forma de diálogo, haciéndola accesible a la sociedad, se inicia una auténtica persecución contra él, pese a su edad avanzada. Fue juzgado por la Inquisición, amenazado con tortura y obligado a abjurar de sus ideas, cosa que Galileo hizo para salvar su vida. De hecho, años atrás, en 1600, Giordano Bruno, había sido sometido a torturas para que renunciase a sus ideas (defensa del heliocentrismo, de la infinitud del universo y la existencia de un gran número de mundos habitados) y, al no hacerlo, fue quemado en la hoguera.

La abjuración de Galileo fue leída públicamente en todas las iglesias de Italia, siendo condenado a permanecer confinado hasta su muerte (que tuvo lugar en 1642) en una villa en el campo. Mientras permaneció confinado, escribió Discursos y demostraciones sobre dos nuevas ciencias pertenecientes a la mecánica y el movimiento global, acerca del movimiento de los objetos terrestres, fueron igualmente subversivos para la imagen del universo defendida por la Inquisición. En efecto, como sabemos, sus estudios condujeron a cuestionar la idea de que hacía falta una fuerza para mantener un cuerpo terrestre en movimiento y a mostrar que la fuerza era solo necesaria para modificar un movimiento. Las supuestas diferencias entre los movimientos celestes y terrestres comenzaban, así, a cuestionarse. Este libro se publicó en Holanda, dado que en Italia sus libros estaban prohibidos. Cabe señalar que esta condena de las teorías de Galileo se ha prolongado varios siglos, hasta muy recientemente. El Vaticano no anunció hasta 1968 la conveniencia de anularla y solo la hizo efectiva en 1992, mientras que, desde la Congregación para la Doctrina de la Fe (Ex Santo Oficio), todavía se pretende hoy justificar y exculpar a la Inquisición.

Pero Galileo se equivocó al pensar que hechos tan contundentes harían aceptar el sistema heliocéntrico, porque su propuesta no solo cambiaba la imagen del mundo, sino los criterios para comprobar la veracidad de los enunciados y el propio papel de la ciencia.

A.30. Cita ejemplos de otros conflictos que, a lo largo de la historia de la humanidad, hayan enfrentado a la ciencia y la tecnología con posturas dogmáticas.

Comentarios A.30. La historia de la ciencia es pródiga, desgraciadamente, en conflictos entre dogmatismos y libertad de investigación. La quema de Miguel Servet por atreverse a investigar en el interior del cuerpo humano y la inclusión del Origen de las especies en el Index Librorum Prohibitorum, oponiéndose a la revolución científica que supuso el evolucionismo, son dos de los casos más conocidos, que suelen ser señalados por algunos estudiantes. Pero los ejemplos pueden multiplicarse y llegar a nuestros días. Se puede mencionar que los conflictos no solo han sido con la religión sino con regímenes absolutistas decimonónicos o dictaduras del siglo XX, que han perseguido no solo científicos por su raza o ideología, sino ideas científicas (la relatividad por el nazismo, la genética o la cuántica por el estalinismo o la evolución por el franquismo). Entre los más recientes la oposición frontal de los creacionistas norteamericanos a la teoría de la evolución o de determinados sectores de ideología conservadora a la investigación con células madre embrionarias. Pero es importante que los estudiantes comprendan que el rechazo del heliocentrismo constituye el ejemplo más paradigmático de resistencia a la libertad de investigación y de oposición absoluta al avance científico. De hecho, como ya hemos señalado, la “rehabilitación” del heliocentrismo por la Iglesia Católica tuvo que esperar a fines del siglo XX.

4. LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Después de Copérnico y Galileo, fueron muchos los que abordaron el estudio del movimiento de los cuerpos celestes. Científicos ingleses, entre otros, como

Hooke, Wren, Halley y, muy en particular, Newton enfocaron los problemas de forma diferente: utilizando el nuevo concepto de fuerza y los principios de la dinámica, analizaron la última gran diferencia supuestamente existente entre los movimientos terrestres y celestes.

4.1. La síntesis Newtoniana

A.31. Dibujad las fuerzas que actúan sobre un objeto que cae en las proximidades de la superficie terrestre y sobre un satélite puesto en órbita alrededor de la Tierra

Comentarios A.31. Digamos de entrada que, como han mostrado numerosas investigaciones, muchas personas piensan que “un objeto en órbita no pesa”, puesto que no “cae” hacia la Tierra. Así, muchos estudiantes consideran que la fuerza neta sobre el satélite ha de ser nula, puesto que “se encuentra en equilibrio”.

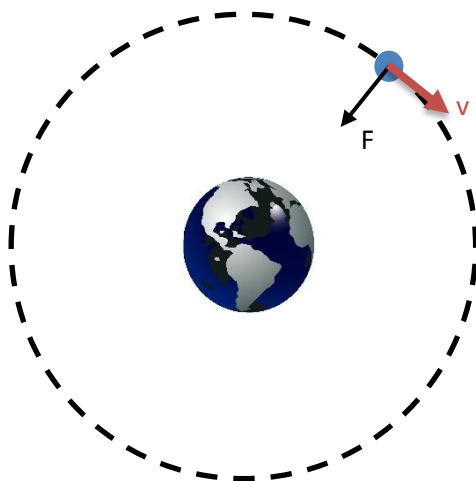


Figura 18. Fuerza actuando sobre un objeto en órbita

La separación Cielo-Tierra no es, pues, “una idea absurda del pasado”, sino que responde al sentido común, como tantos otros aspectos del modelo aristotélico. Pero la aplicación consecuente de los principios de la dinámica llevó a Newton -y ha de llevar a los alumnos- a comprender que si la Luna gira (cambia la dirección de

la velocidad), debe estar actuando sobre ella alguna fuerza resultante, ya que si no llevaría un movimiento rectilíneo uniforme.

A.32. ¿De qué factores cabe suponer que dependa la interacción gravitatoria entre dos cuerpos?

Comentarios A.32. Los alumnos conjeturan fácilmente que la fuerza de atracción entre dos cuerpos crecerá con el valor de sus masas y disminuirá con la distancia que les separa. El profesor puede indicar que éstas son conjeturas razonables y coinciden con las realizadas por el propio Newton, quien argumentó mediante cuidadosos razonamientos que la fuerza gravitatoria F sería proporcional al producto de las masas de ambos cuerpos, m_1 y m_2 , e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que les separa, r^2 . Newton suponía así que el debilitamiento de la fuerza de atracción era debido al aumento de la superficie ($4\pi r^2$) sobre la que se distribuía dicha atracción a la distancia r . De este modo las hipótesis de Newton pueden expresarse con la proporcionalidad $\frac{F}{\frac{m_1 m_2}{r^2}} =$ constante, siendo dicha constante universal, es decir, la misma para dos cuerpos cualesquiera. Designando a dicha constante como G (de Gravitación), la expresión anterior puede escribirse así: $F = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$. No era posible, en aquel momento, someter a prueba directamente la hipótesis de la gravitación universal. Newton tuvo que recurrir, pues, a pruebas indirectas. Esto es algo que ocurre muy a menudo en la ciencia. Newton predijo el periodo de giro de la Luna T_L y también aplicó su hipótesis al estudio de la relación entre el periodo T y el radio r de la órbita de los planetas, deduciendo así la tercera ley de Kepler. Los experimentos los realizó el físico inglés Cavendish a fines del siglo XVIII con masas ligeras en los extremos de la varilla, a las que aproximaba, dos esferas de masa muy superior, dispositivo que se conoce como balanza de torsión. Cavendish buscaba determinar la densidad de la Tierra con sus experimentos, pero contribuyeron, posteriormente, a determinar el valor de la constante G ($6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$) y a determinar la masa de la Tierra.

Naturalmente, el establecimiento de la Ley de la Gravitación Universal no puso punto final, ni mucho menos, a la investigación en este campo. Los nuevos conocimientos generaron nuevas preguntas e impulsaron numerosos desarrollos que han llegado hasta nuestros días. Nos asomaremos, a continuación, a algunos de ellos.

Aplicaciones de la ley de la Gravitación Universal

A.33. ¿Cómo se pueden explicar las mareas, el comportamiento de los cometas y el descubrimiento de nuevos planetas a partir de la fuerza gravitatoria?

Comentarios A.33. Las primeras consecuencias de la ley de Gravitación Universal, fueron desarrolladas en su mayor parte por el propio Newton, se refieren a las mareas oceánicas y al achatamiento en los polos de los planetas. Las mareas se deben a que la Luna (y en menor proporción el Sol) atraen la parte más próxima del océano y tienden a elevar las aguas. La forma de esferoide achatado al efecto combinado de la gravitación (que formaría esferas a partir de la materia inicialmente dispersa) y de la rotación alrededor del eje (ensanchamiento en el ecuador y aplastamiento en los polos). El vídeo <http://youtu.be/6rDOJlIW7fY>, lo explica gráficamente.

La ley de gravitación también permitió explicar el comportamiento de los cometas. Si los cometas son periódicos, su trayectoria será una elipse muy excéntrica. El más famoso de ellos es el cometa que E. Halley estudió cuando apareció en 1682 y para el que predijo un periodo de aproximadamente 75 años. Su vuelta en 1756 y tres veces más desde entonces, tras recorrer una amplia elipse que se extiende más allá del último planeta, fue interpretada como un importante triunfo de la mecánica newtoniana. Si los cometas no son periódicos, su trayectoria será abierta, es decir, una hipérbola o una parábola. El vídeo <http://youtu.be/PVVyaS1oRMQ>, perteneciente a la colección de Planeta de Agostini: “El universo: Enciclopedia de la astronomía y el espacio”, en su capítulo número 10 describe este cometa.

Otros descubrimientos astronómicos relacionados con la ley de Gravitación han puesto de manifiesto su carácter universal. Así, por ejemplo, el descubrimiento de nuevos planetas a partir de las perturbaciones que producen en sus órbitas los planetas ya conocidos: las irregularidades en la órbita de Urano, descubierto en 1781 por Herschel, condujeron al descubrimiento de Neptuno en 1846 por Leverrier y Adams; por las perturbaciones que producía en este último fue descubierto Plutón en 1930 por Tombaugh. El vídeo <http://youtu.be/nzghQPjZ9o8> ofrece información sobre el descubrimiento de Neptuno, realizado por la agencia EFE con motivo de la efemérides de los 165 años del descubrimiento del planeta Neptuno.

La Vía Láctea

A.34. ¿Cómo se puede explicar la gran concentración de estrellas de la Vía Láctea?

Comentarios A.34. Hacia 1784 Herschel con su explicación de esta observación mostró que las estrellas observables constituían un sistema con forma de lente, es decir, una galaxia. En consecuencia si miramos en la dirección del plano de la galaxia vemos muchas estrellas y, en dirección perpendicular a él pocas, por tanto la Vía Láctea corresponde al plano de nuestra galaxia. Esto proporciona una nueva y mayor imagen del universo, similar a la profetizada por Giordano Bruno, en la que el sistema solar y una multitud de miles de millones de estrellas (con sus posibles sistemas) giran alrededor del centro de la galaxia, poniendo de manifiesto el carácter universal de la gravitación. El mismo Herschel observó en 1803 que algunas parejas de estrellas próximas giran una alrededor de la otra (estrellas binarias), según la ley de la gravitación. También se observó (Halley en 1714, Messier en 1781) que las estrellas tienden a agruparse por efecto de la gravitación, formando cúmulos globulares y abiertos. Una vista desde arriba de nuestra galaxia es la que muestra la Figura 19, en la que el Sol aparece en el centro de los ejes. Podemos imaginar que sucede si miramos en la dirección del plano, hacia el núcleo

galáctico, encontramos más estrellas que mirando en cualquier otra dirección. Esta es la franja lechosa que aparece en el cielo.

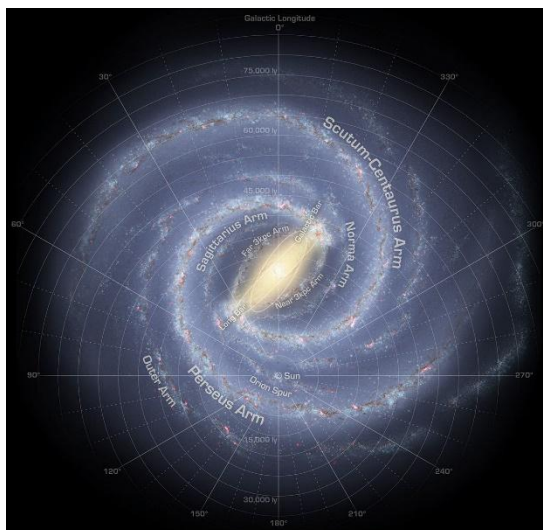


Figura 19. Representación artística de la Vía Láctea

A.35. Considerando las grandes distancias entre las estrellas y demás cuerpos del universo, para describir las distancias astronómicas, se utiliza el año-luz. Sabiendo que la luz del Sol tarda unos 8 minutos en llegar hasta nosotros y la luz emitida por la estrella más cercana, alfa de Centauro, tarda cuatro años y cuatro meses, calcula sus distancias a la Tierra.

Comentarios A.35. Teniendo en cuenta que la velocidad de la luz en el vacío es de 300000 km/s, encontramos que el Sol está a unos 150 millones de km. Y alfa a 41 billones de km, es decir, ¡273300 veces la distancia entre la Tierra y el Sol! Un año luz son 9,46 billones de km.

La gravedad, una interacción más

A.36. Enumera los diferentes tipos de interacciones que conozcas. ¿Por qué a escalas astronómicas la interacción dominante es la gravitatoria siendo la forma de

interacción más débil (la electromagnética tienen una intensidad 10^{38} veces mayor que la gravitatoria)?

Comentarios A.36. Los estudiantes se suelen referir a una gran variedad de fuerzas como: rozamiento, peso, eléctrica, magnética, gravedad, atómica, tensión, centrífuga, etc. Conviene resaltar que la mayor parte de las interacciones de la vida cotidiana son de naturaleza electromagnética y detenerse en la clarificación de cuáles son las interacciones básicas: la gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte (necesaria para explicar la estabilidad de los núcleos frente a la repulsión de los protones) y la débil (que explica la desintegración beta). Es una buena ocasión para señalar la importancia de los esfuerzos de unificación que han tenido lugar (¡y siguen teniendo!) en este campo. Por último, habrá que clarificar la idea de fuerzas de inercia, que son consecuencia de evidencias de sentido común pero, si no fuera así, sería conveniente dedicarles una cierta atención, analizando algunas situaciones de la vida diaria, lo que contribuirá a una mejor comprensión y a una profundización de los principios de la dinámica.

A continuación conviene plantear a los alumnos por qué, pese a tratarse de, a escala astronómica constituye la interacción dominante. Basta con hacer notar que aunque las interacciones electromagnéticas tienen una intensidad muy superior a las gravitatorias, hay dos clases de carga eléctrica en la naturaleza que globalmente se equilibran, por lo que no hay objetos celestes con carga neta, capaces de interactuar electromagnéticamente. En cuanto a las interacciones nucleares no cuentan a escala macroscópica porque son de muy corto alcance. Las interacciones gravitatorias resultan, pues, pese a su mucha menor intensidad, de una enorme importancia a escala macroscópica cuyo estudio se vio facilitado por el establecimiento de la teoría de la gravitación universal.

Como recursos de ampliación puede visualizarse el vídeo del profesor Goldstein, que en el capítulo 10 de su serie “El universo Mecánico”, explica cada una de las fuerzas fundamentales que existen en la naturaleza. También puede

descargarse como recurso un poster que resume la física de partículas y las interacciones en http://www.cpepphysics.org/images/chart_2006_4.jpg

4.2. El sistema solar a escala

A.37. Haz una representación a escala del sistema solar a partir de los siguientes datos:

	Diámetro (km)	Distancia (km)
Sol	1392000	0
Mercurio	4870	58000000
Venus	12103	108000000
Tierra	12756	150000000
Marte	6786	228000000
Júpiter	142984	778000000
Saturno	120536	1427000000
Urano	51118	2871000000
Neptuno	49528	4497000000

Comentarios A.37. En este apartado trataremos de hacernos una idea sobre los tamaños que entran en juego en el sistema solar, tanto a nivel de diámetro de los planetas como a nivel de distancias. Para ver una descripción detallada del desarrollo de la actividad puedes visitar el anexo I correspondiente.

5. LA IMAGEN ACTUAL DEL UNIVERSO

5.1. Estrellas

A.38. Contesta las siguientes preguntas ayudándote de la información que encuentres en el siguiente sitio web:

<http://www.astromia.com/universo/estrellas.htm>

- C.1. ¿Qué es una estrella?
- C.2. ¿Las estrellas se encuentran en reposo o en movimiento?
- C.3. ¿Cuántas estrellas es posible observar a simple vista?
- C.4. ¿Cuántas estrellas se encuentran en nuestra galaxia?
- C.5. ¿Cuál es la estrella más cercana a nuestro sistema solar?
- C.6. ¿Cuáles son las partes de una estrella?
- C.7. ¿De qué están compuestas las estrellas?
- C.8. ¿Qué tipos de estrellas existen según su espectro?
- C.9. En la época en la que nos encontramos (Noviembre-Diciembre) una de las estrellas que puede verse al Sur-Este a partir de las 11 de la noche y baja en el horizonte es Sirio. Realiza una breve descripción de esa estrella.
- C.10. A esa misma hora un poco más alta en el horizonte, pero situada en el ESTE, puede verse a Betelgeuse. Realiza una breve descripción de esa estrella.
- C.11. ¿Cómo nace una estrella?
- C.12. ¿Cuál es la fuente de energía de las estrellas?
- C.13. ¿Qué es el diagrama Hertzsprung-Russell?
- C.14. ¿Cuándo se convierte en gigante roja una estrella?
- C.15. ¿Cómo se convierte una estrella en una nebulosa planetaria?
- C.16. ¿Cuándo se convierte en enana blanca una estrella?
- C.17. ¿Qué es una explosión supernova?
- C.18. ¿Qué es una estrella de neutrones?
- C.19. ¿Qué es un agujero negro?
- C.20. ¿Qué es una estrella doble?
- C.21. ¿Qué utilidad puede tener observar las estrellas dobles?
- C.22. ¿Qué es una estrella variable?
- C.23. ¿Qué son las variables cefeidas?
- C.24. ¿Para qué es útil el estudio de las variables cefeidas?
- C.25. ¿Qué es un púlsar?

Comentarios A.38. La realización de estas cuestiones busca que el alumno investigue y descubra algunos conceptos relacionados con las estrellas, y en concreto aquellos que muestran a las estrellas como objetos dotados de evolución. La actividad puede empezarse con el vídeo <http://youtu.be/iyhT2v5DMwU> que muestra un recorrido a escala desde los pequeños planetas del sistema solar hasta las estrellas más grandes conocidas.

Las estrellas son masas de gas, generalmente hidrógeno y helio, a elevada temperatura. Las estrellas viven con un delicado equilibrio entre la gravedad (que trata de contraer a la estrella) y la fusión (que trata de expandir a la estrella). Las

estrellas, al contrario que los planetas o la Luna, parecen fijas en el firmamento. A lo largo de la noche describen un movimiento circular debido a la rotación de la Tierra, pero no es ese el movimiento que nos interesa. Además de ese movimiento, poseen un movimiento real, descubierto por primera vez por Edmund Halley. Este movimiento está formado a su vez por la composición de dos movimientos, un movimiento propio debido al desplazamiento aparente en el cielo y otro movimiento radial en la dirección de la visual de la estrella. Estos cambios de movimientos solo se perciben a través de los siglos. Nuestra galaxia contiene entre 200.000 y 600.000 millones de estrellas, aunque el número de estrellas visibles a simple vista se ha estimado en 8000 estrellas, la mitad en cada hemisferio. De todos estas miles de millones, la más cercana a la Tierra es Proxima Centauri, una de las componentes del sistema triple Alpha Centauri, situada a 4 años-luz de la Tierra.

Igual que nuestro Sol, una estrella típica está formada por la corona, la región más exterior y difusa; la fotosfera, que es la superficie visible y donde pueden encontrarse las manchas en el Sol; la atmósfera, en la que tiene lugar los fenómenos de convección y radiación; y el núcleo donde suceden las reacciones de fusión que generan la energía de la estrella. La composición de la estrella depende de su edad, aunque están formadas principalmente de Hidrógeno y Helio. Pueden clasificarse según su espectro en O, B, A, F, G, K y M, yendo de las más calientes y azules a las más frías y rojas. Estos tipos espectrales, tienen a su vez subtipos del 1 al 9 para afinar más la clasificación, así, una estrella como el Sol es del tipo G2. A modo de ejemplo puede citarse a Sirio, de tipo A y la estrella más brillante del cielo nocturno perteneciente a la constelación del Can Mayor; o a Betelgeuse, la estrella roja más brillante de la constelación de Orión.

El nacimiento de una estrella tiene lugar a partir de la contracción de una nube de gas relativamente fría. Esta contracción aumenta la temperatura del gas hasta el orden del millón de grados centígrados, momento en el que tienen lugar las

reacciones nucleares de fusión de los núcleos de hidrógeno y deuterio, liberándose grandes cantidades de energía que se opone a la contracción. Así en el núcleo de nuestro Sol núcleos de hidrógeno acaban transformándose en Helio mediante la llamada cadena protón-protón. Además de estas reacciones mencionar que otras tienen lugar según el tipo de estrella, como el ciclo CNO o el proceso triple-alpha. A lo largo de su vida la estrella recorre distintos estadios, variando su tamaño, luminosidad y temperatura. La relación entre estas dos magnitudes está recogida en el diagrama de Hertzsprung-Russell, a cuya comprensión puede ayudar la animación <http://astro.unl.edu/naap/hr/hr.html>.

Una estrella de masa media al acabar de quemar el hidrógeno y acumular helio en su núcleo se expandirá aumentando de tamaño y disminuyendo su temperatura, convirtiéndose en una gigante roja. El núcleo se calienta y comienzan las reacciones de fusión de helio, la estrella se torna inestable y las capas más exteriores se expelen al espacio formando una nebulosa planetaria. El remanente de la estrella original, un núcleo en estado de plasma, se denomina enana blanca.

Si se trata de una estrella masiva su vida será más corta, llegando a la fase de supergigante roja en un tiempo menor que en el caso de una estrella media (ver Figura 20). En ellas no solo se consigue helio, sino que pueden obtenerse elementos más pesados como el magnesio, azufre, silicio, níquel, cobalto y por último el hierro. Estas estrellas llegan a su fin violentamente en lo que se conoce como explosión supernova, en la que la estrella expulsa todas sus capas y se forman los átomos de elementos más pesados. Esta explosión provoca la formación de los elementos más pesados que el hierro, motivo por el que Carl Sagan señaló que “somos polvo de estrellas” (Sagan, 2004). El remanente de una explosión supernova es una estrella de neutrones, un objeto con una densidad tal que una cucharada de este material pesaría 1 millón de toneladas. Si esta estrella tiene la masa suficiente, puede seguir colapsando y convertirse en un objeto tan masivo que ni la luz pueda escapar de él, los llamados agujeros negros. Las

distintas fases en la vida de una estrella pueden simularse mediante la animación http://www.planetseed.com/flash/science/lab/airspace/byo_star/es/BYOstar_loader.swf.

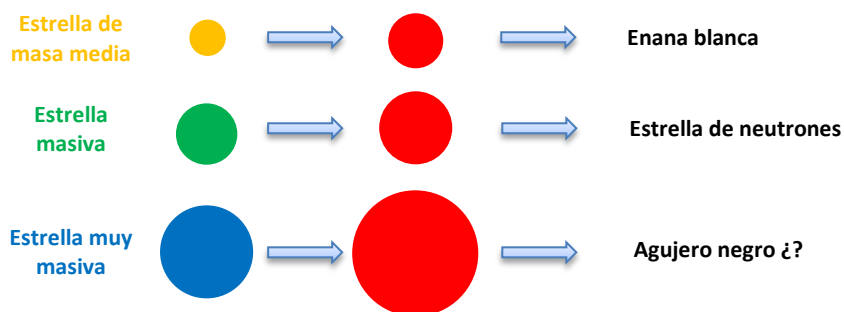


Figura 20. Distintos finales según la masa de la estrella

Lo habitual no es encontrar a las estrellas en solitario, sino hacerlo en grupos de 2 o más estrellas. A las parejas de estrellas se les denomina estrellas dobles, y pueden ser de dos tipos: Las binarias en las que ambas estrellas orbitan gravitatoriamente en torno a un centro común, y las dobles ópticas que aparecen a la vista como una pareja pero que no están unidas por la gravedad. Las estrellas binarias son utilizadas para calcular la masa de una estrella. A partir de la tercera ley de Kepler, midiendo distancia entre ambas y periodo puede calcularse la masa.

Aunque la mayoría de las estrellas poseen una luminosidad constante, existen estrellas denominadas variables en las que esto no es así. Esta variabilidad puede deberse a causas intrínsecas de la estrella (pulsaciones, interacciones) o a causas extrínsecas (eclipsantes, rotantes). Existen un tipo particular de estrellas variables, las variables cefeidas, que son estrellas pulsantes con un período muy regular, lo que permite a partir de la relación entre el período y la luminosidad calcular la magnitud absoluta, y junto con la magnitud aparente obtener la distancia a la estrella.

Existen además otros objetos estelares más o menos exóticos como los púlsares (estrellas de neutrones en rotación que emiten señales de radio periódicas), enanas marrones, enanas negras, hipergigantes, etc.

5.2. Miles de millones

Hasta principios del siglo XX el universo se creía reducido a la Vía Láctea y existía una fuerte controversia entre Hubble y Shapley sobre el tamaño de la misma, hasta que Hubble observa con el gran telescopio de Monte Wilson (EEUU), que muchos objetos denominados nebulosas contienen estrellas y, en consecuencia, son realmente galaxias exteriores a la Vía Láctea que en realidad no es más que una galaxia entre miles o millones de ellas.

A.39. En 1929 Hubble descubrió que la luz procedente de las galaxias lejanas tiene frecuencias inferiores a las correspondientes al espectro del Sol. Es decir, hay un desplazamiento hacia el rojo tanto mayor cuanto más lejos están las galaxias. ¿Qué explicación puede darse de este hecho teniendo en cuenta el diferente tono en la sirena de una ambulancia o en el silbido de un tren cuando se acerca o cuando se aleja?

Comentarios A.39. Muchos estudiantes han observado el efecto Doppler con ondas sonoras. Conviene que comprendan que cuando se acercan el tono es más agudo (lo que corresponde a una frecuencia mayor) y cuando se alejan más grave (frecuencia menor). Como las líneas espectrales de dichas galaxias estaban desplazadas hacia el rojo, es decir, hacia frecuencias menores (o longitudes de onda mayores), esto demostró que las galaxias se alejaban de la Tierra.

La Figura 21 ilustra el comportamiento del frente de ondas cuando el foco se mueve en la dirección marcada con la flecha.

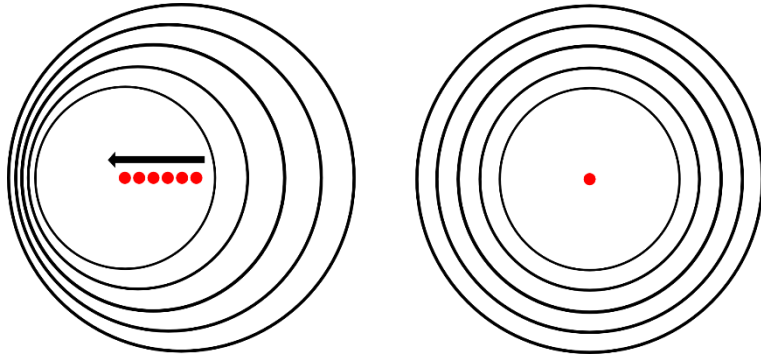


Figura 21. Representación del efecto Doppler cuando el foco está en movimiento

Es necesario señalar aquí que el efecto Doppler observado en las galaxias es producido realmente por la expansión del espacio (algo de lo que era consciente Lemaître pero no Hubble (Kragh, 2011)), tal y como ilustra la Figura 22, que produce un alejamiento de la fuente emisora de luz, análogo al efecto Doppler en onda sonoras.

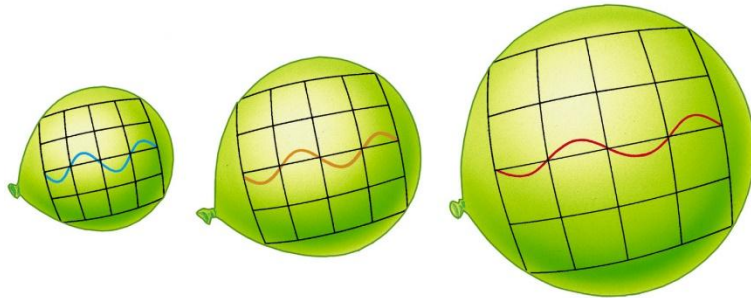


Figura 22. Corrimiento al rojo de la luz causado por la expansión del universo

Hubble y su ayudante Humason comprobaron que a medida que aumenta la distancia de la galaxia a nosotros, la velocidad de expansión también aumenta, mediante la ley $v = H \cdot d$. La constante de Hubble, H , nos da una idea de la rapidez de expansión del espacio y el valor más reciente es $H_0 = 69,32 \pm$

$0,80 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ (Bennett, y otros, 2013). Según la ley de Hubble, el universo no se expande a una única velocidad, sino que las galaxias más lejanas lo hacen más rápido. De esta forma predice que para un determinado valor de la distancia (distancia de Hubble) las galaxias se alejan más rápido que la velocidad de la luz. Esto no viola la Teoría de la Relatividad ya que esta es válida localmente para velocidades en el espacio, no para velocidades de expansión del propio espacio. Actualmente el valor de la distancia de Hubble se cifra en 14000 millones de años-luz, pero esta no es fija debido al cambio de la constante de Hubble y no define el tamaño del universo observable. A causa de esta expansión, los objetos que emitieron la luz hace 14.000 millones de años se encuentran actualmente a 46.000 millones de años, distancia conocida como radio del universo observable. (Davis & Lineweaver, 2004; Davis & Lineweaver, 2005).

La Figura 23 representa un grupo de galaxias en un tiempo inicial (I), la expansión del espacio provoca un cambio en su posición (II), que observado desde un observador no necesariamente centrado (III) puede llevar a concluir que el espacio se expande.

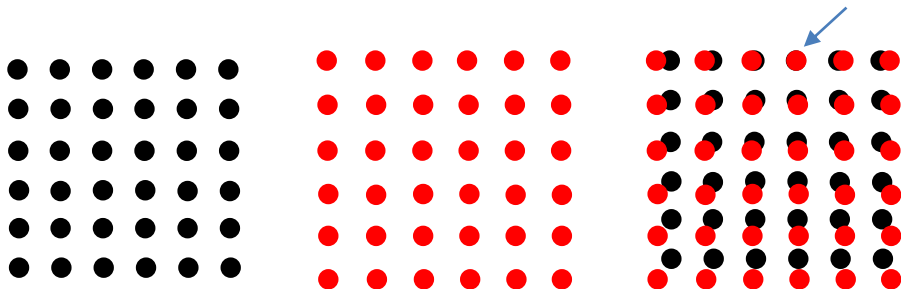


Figura 23. (I) Agrupación de galaxias en un tiempo 1, (II) agrupación de galaxias en un tiempo 2, (III) galaxias parecen alejarse desde un observador no necesariamente centrado

En la actualidad, los astrónomos calculan que en nuestra galaxia, la Vía Láctea, existen entre 100.000 y 300.000 millones de estrellas, separadas por el vacío interestelar, así como nubes de polvo y gas; tiene la forma de un disco abombado en su centro, de un diámetro de 100000 años-luz, y un espesor de 50000 años-luz.

Si fuéramos capaces de salir de nuestra galaxia, para distancias del orden de 1 millón de años luz, observaríamos el cúmulo de galaxias al que pertenecemos, El Grupo Local. Más lejos todavía, a distancias del orden de 10 millones de años luz, nuestro cúmulo de galaxias junto con otros vecinos, forman el Supercúmulo de Virgo. Más allá de los supercúmulos se llega a una escala de observación conocida como “El final de la grandeza”, observando un universo homogéneo e isótropo tal y como enuncia el principio cosmológico (ver última imagen en Figura 24). Y todavía podría quedar una puerta abierta... ¿existen otros universos como el nuestro formando un conjunto llamado Multiverso?

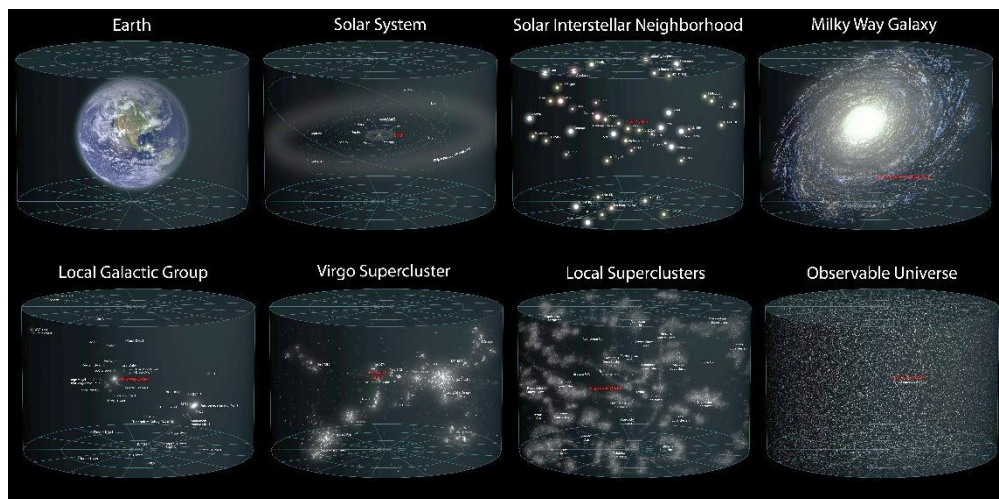


Figura 24. Estructuras en el universo

Para dar cuenta de los tamaños en juego pueden enseñarse animaciones que viajen entre las distintas escalas del universo como las disponibles en <http://apod.nasa.gov/apod/ap120312.html> o en <http://www.numbersleuth.org/universe/>. También puede utilizarse un fragmento de vídeo que muestra un zoom hacia la Tierra, suponiendo que nos pudiéramos situar en una posición en la que observáramos las agrupaciones de galaxias que son

los supercúmulos (pertenece a la serie documental: El universo de Stephen Hawking) <http://youtu.be/ctb62HZheJ4>. O este otro vídeo, <http://youtu.be/17jymDn0W6U> , elaborado por el Museo Americano de Historia Natural en el que se realiza un viaje desde la Tierra hasta las últimas estructuras conocidas del universo.

A.40. Tomando los 225 m que correspondían a la distancia entre la Tierra y Neptuno como diámetro de la Galaxia, que tamaño correspondería al sistema solar. Igualmente si tomamos los 225 m como radio del universo visible, ¿qué tamaño correspondería a la Galaxia?

Comentarios A.40. Este problema es complejo, ya que el sistema solar no es una esfera con bordes definidos. Si se toma como límite del sistema solar el borde de la nube de Oort, 50000 UA (más allá de las 1000 UA de la zona de Kuiper o de las 30 UA de Neptuno). Como una UA son $150 \cdot 10^6$ km, entonces el radio del sistema solar son $7,5 \cdot 10^{15}$ m. Por otra parte, el radio de la Vía Láctea es 50000 aL, es decir, $4,75 \cdot 10^{20}$ m tendremos que:

$$\frac{225 \text{ m}}{4,75 \cdot 10^{20} \text{ m}} = \frac{r}{7,5 \cdot 10^{15} \text{ m}}$$

Por tanto $r = 3,55 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 3,6 \text{ mm}$, es decir el sistema solar es insignificante frente a la vía Láctea.

Igualmente, si el radio del universo observable, teniendo en cuenta la expansión del universo es de $4,6 \cdot 10^{10}$ aL, y el de nuestra galaxia 50000 aL, tendremos:

$$\frac{225}{4,6 \cdot 10^{10} \text{ aL}} = \frac{r}{5 \cdot 10^4 \text{ aL}}$$

de dónde $r = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,24 \text{ mm}$, es decir, a la escala del universo, la Vía Láctea es insignificante. A gran escala el universo está formado por 100000 millones de galaxias, aproximadamente puntuales, ninguna de las cuales ocupa un lugar central

(Sagan, 1998). Físicamente diríamos que, a gran escala, el universo es homogéneo e isótropo (principio cosmológico).

5.3. El génesis

A.41. ¿Cómo se puede explicar la expansión del universo?

Comentarios A.41. Aquí se sale al paso de una idea bastante extendida entre el alumnado: no se trata de que el núcleo proyectase violentamente hacia el exterior toda la materia que contenía sino de que el espacio se crea en la expansión (Solbes & Tarín, 1996). En el momento de la gran explosión se creó el espacio y el tiempo, con lo que no tiene sentido preguntarse dónde ocurrió. La respuesta a esta pregunta sería en todos los sitios del universo actual.

A modo de ampliación, y con el fin de dar a conocer la Teoría de la Relatividad General sobre la gravitación podemos referirnos a la gran idea de Einstein que señala "La masa curva el espacio y el espacio le dice a la masa como debe moverse". Puede utilizarse el vídeo <http://youtu.be/VKhOhHWP6Lc> en el que Carl Sagan muestra cuál es la visión de la gravedad que ofrece la teoría de la relatividad general, enunciada por Einstein en 1916. Para ilustrar la diferencia entre la Gravitación Universal y la teoría de la Relatividad puede mostrarse el vídeo <http://www.youtube.com/watch?v=nl7IH-o5zNg>, en el que Brian Green explica lo que sucedería si el Sol desapareciera desde los puntos de vista de Newton y Einstein. En el documental The Universe: Beyond The Big-Bang (37:19-47:48) aparece una descripción del trabajo de Einstein con la Relatividad General.

Georges Lemaître fue el primero en aceptar la expansión del universo propuesta por la Teoría de la Relatividad General de Einstein y propuso la idea de que todo había surgido de un átomo primordial. En el documental The Universe: Beyond The Big-Bang (46:35-51:34) también aparece una descripción del trabajo de Lemaître respecto al universo.

A.41. (Complementaria) Para completar la actividad anterior consigue un globo y después de inflarlo un poco dibuja círculos con rotulador permanente. Hinchas y deshincha el globo y observa que sucede con las galaxias. Ahora con otro globo inflalo un poco y pega en él pequeños trozos de papel que simulen las galaxias. Hinchas y deshincha el globo y observa que sucede con las galaxias. ¿Cuál de los dos crees que se ajusta más a describir la expansión del universo?

Comentarios A.41. (Complementaria) Continuando con la actividad anterior, esta muestra de forma interactiva como es el espacio entre galaxias el que crece y no las galaxias las que se alejan unas de otras dentro del espacio. Además la introducción de los dos globos distintos, permite diferenciar entre una expansión en todos y cada uno de los puntos del espacio (las manchas se hacen más grandes en el primer globo), y una expansión en la que localmente la materia liga al espacio y hace que este no se expanda (los papeles permanecen del mismo tamaño en el segundo globo).

A.42. ¿Conoces algunos hechos que confirmen la teoría del "Big Bang"?

Comentarios A.42. Probar enunciados es la base de la argumentación y el pensamiento crítico (Jiménez-Aleixandre E, Gallastegui, Eirexas, & Puig, 2009). La teoría de la Gran Explosión se considera comprobada por tres hechos: 1) La separación de las galaxias o su desplazamiento hacia el rojo, que ya hemos visto, 2) La abundancia relativa de los núcleos ligeros: aproximadamente tres cuartas partes de hidrógeno, una cuarta de helio y pequeñas cantidades de deuterio y tritio. 3) La existencia de la radiación de fondo de microondas. En 1964 los astrónomos Arno Penzias y Robert Wilson tratando de detectar ondas de radio de la galaxia fuera del plano de la Vía Láctea, encontraron la existencia de un ruido, una radiación de microondas (7,35 cm), correspondiente a una temperatura aproximada de 3 K, que era isótropa (con la misma intensidad en todas direcciones del espacio), que intentaron eliminar limpiando la antena y cuyo origen no supieron explicar. Pero en ese mismo año Robert H. Dicke y James Peebles habían predicho que como el

universo primitivo se encontraba a una temperatura muy elevada emitió energía en forma de radiación de pequeña longitud de onda (rayos gamma). Como consecuencia de la expansión del universo, esa radiación debería ser observada muy desplazada hacia el rojo, es decir con una longitud de onda centimétrica y que debería llegar a la Tierra de forma isótropa. En el fragmento del documental *The Universe: Beyond the Big Bang* (00:56:52-01:12:19), aparecen descritas estas tres pruebas, junto con el desarrollo histórico de la discusión entre un universo estable y un universo en expansión.

A.43. ¿Cuál puede ser el final del universo?

Comentarios A.43. La solución de las ecuaciones de la Teoría General de la Relatividad de Einstein, que Alexander Friedmann elaboró en 1922 ofrece tres modelos de evolución del universo. Es una situación análoga a cuando se lanza desde la Tierra un proyectil hacia el cielo a una velocidad menor, mayor o igual a la velocidad de escape, 11,2 km/s (considerando despreciable el rozamiento con la atmósfera). Si es menor, caerá de regreso a la Tierra. Si es igual, empezará a escapar y no regresará. Si es mayor escapa con facilidad.

- En el primer modelo evolutivo de Friedmann la fuerza de atracción gravitatoria de la materia del universo alcanza un valor lo suficientemente grande como para detener la expansión y volver, mediante una Gran Implosión, al estado original y, tal vez, originar nueva Gran Explosión. En un espacio en 2 dimensiones la geometría que implica este modelo corresponde a una de curvatura positiva como la de una esfera. El universo tiene un volumen infinito pero es cerrado (ver Figura 25-I).
- El primer modelo predice un universo que se expande indefinidamente. La cantidad de materia que contiene no es suficiente para equilibrar la expansión por medio de la fuerza gravitatoria. El universo es, por tanto, abierto e infinito. En un espacio en 2 dimensiones corresponde a una

geometría espacio-tiempo de curvatura negativa como la de una silla de montar (ver Figura 25-II).

- En el segundo modelo, la evolución del universo corresponde a una expansión en la que la velocidad de separación de las galaxias disminuye gradualmente aunque no llega a ser nula. Como consecuencia, el universo es infinito. En un espacio en 2 dimensiones, la geometría espacio tiempo pertenece al tipo plano: geometría euclídea (ver Figura 25-III).

De acuerdo con lo anterior se puede concluir que la masa que contiene el universo determina su evolución y geometría de acuerdo con uno de los tres modelos citados. En Cosmología se acostumbra a no utilizar la masa sino la relación entre la densidad de la materia del universo y la llamada “densidad crítica”. Dicha relación se simboliza por la letra Ω . La “densidad crítica” se refiere a la que tendría un universo que evolucionara de acuerdo con el tercer modelo de Friedmann (ver Figura 25-III). Según la Teoría General de la Relatividad, dicha “densidad crítica” tiene un valor de unos 10^{-30} g/cm³. Por tanto, si el valor de Ω es mayor que 1, la evolución será la correspondiente al modelo tercero (ver Figura 25-I) y si Ω es menor que 1 (ver Figura 25-II), el universo tendrá una evolución como la descrita por el modelo uno.

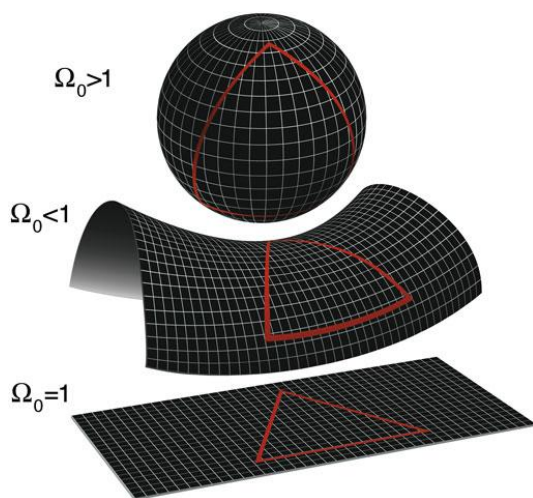


Figura 25. Representación artística de las formas del universo según su densidad

Para medir la densidad de materia en el universo puede medirse la cantidad de materia brillante o puede medirse la influencia gravitatoria de esta materia. Estas dos medidas difieren una de la otra, dando lugar a una de las grandes preguntas de la cosmología actual, la materia oscura. Esta idea aparece de alguna manera en 1922 con la medida de la masa del disco galáctico por James Jeans, y es confirmada primero por Zwicky y después Vera Rubin (a mediados de los 70) al medir velocidades de estrellas en galaxias espirales (Trimble, 2013). Algunos cosmólogos explican dicha materia oscura a partir de la masa de los neutrinos, otros, como Stephen Hawking mediante agujeros negros microscópicos y otros con partículas exóticas aún no detectadas.

Teniendo en cuenta la densidad correspondiente a la materia ordinaria y la correspondiente a la materia oscura, apenas se llega a un 30% de la densidad crítica. En 1980 la teoría de la inflación apareció para resolver algunas inconsistencias de la teoría del Big Bang, y entre otras cosas predecía un universo con densidad cercana a la crítica, resultado que coincide con los datos obtenidos por WMAP en la medida de las homogeneidades de la radiación de fondo (Figura

26) A esa contribución del 70% restante a la densidad del universo se le ha dado en llamar energía oscura. Descubierta en 1998 gracias al uso de supernovas para calcular grandes distancias (Nobel de Física 2011 Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt y Adam G. Riess), hace que actualmente el universo se encuentre en expansión acelerada. Los datos más recientes indican que la materia ordinaria ocuparía un 4,6% del universo, el 24% sería materia oscura y el 71,4% energía oscura (Bennett, y otros, 2013)

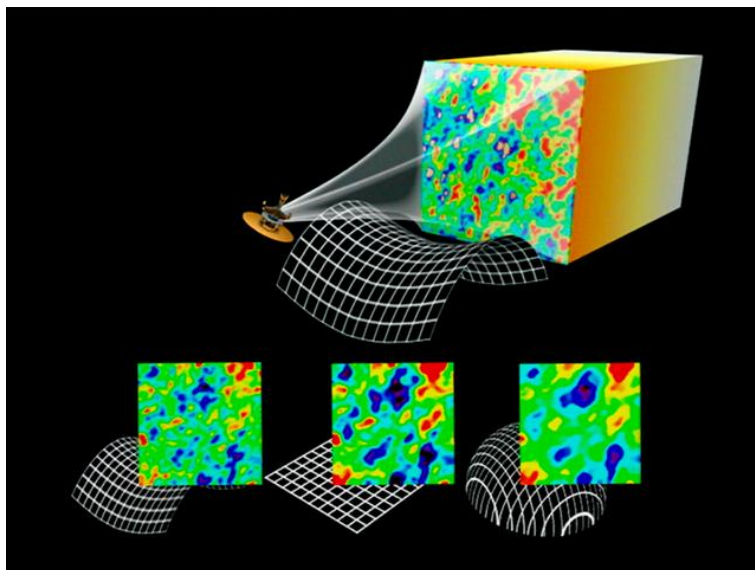


Figura 26. Distintas mediciones obtenidas por WMAP indicarían distintas geometrías del universo

La relación citada un poco más arriba entre destino y geometría del universo, solo era válida cuando se consideraba una densidad energética del vacío igual a cero. La entrada en juego de la energía oscura hace que, un universo abierto puede volver a colapsar o uno cerrado expandirse para siempre (Krauss & Turner, 1999).

Para ilustrar el concepto de materia oscura puede utilizarse algún recurso gráfico como las animaciones <http://vimeo.com/22956103> o

<http://youtu.be/ER5hPECZdTk>, o sugerir el visionado del documental emitido por canal historia de título "El universo: Materia oscura, energía oscura"

6. SATÉLITES ARTIFICIALES

La posibilidad de poner un objeto en órbita alrededor de la Tierra fue ya concebida por Newton (ver Figura 27), al menos implícitamente, al considerar que la parábola descrita por un objeto lanzado desde una torre con velocidad creciente va abriéndose y haciendo caer el objeto cada vez más lejos, de forma que si llegamos a darle suficiente velocidad puede llegar a no caer al suelo, cerrándose una trayectoria elíptica.

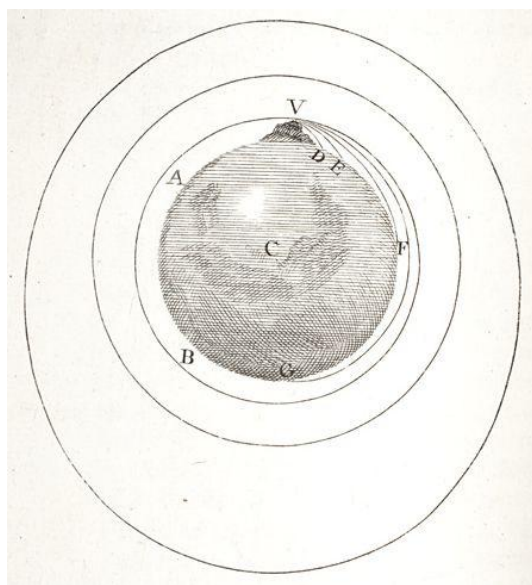


Figura 27. Representación original de Newton para distintos lanzamientos

Posteriormente, el novelista francés Jules Verne (1828-1905) imaginó el lanzamiento de un proyectil tripulado hacia la Luna en su libro "De la Tierra a la Luna", utilizando los recursos técnicos disponibles en aquel momento. El

lanzamiento se efectuaba mediante un gran cañón de 300 m aproximadamente de longitud hundido en tierra, tal y como aparece en la Figura 28:

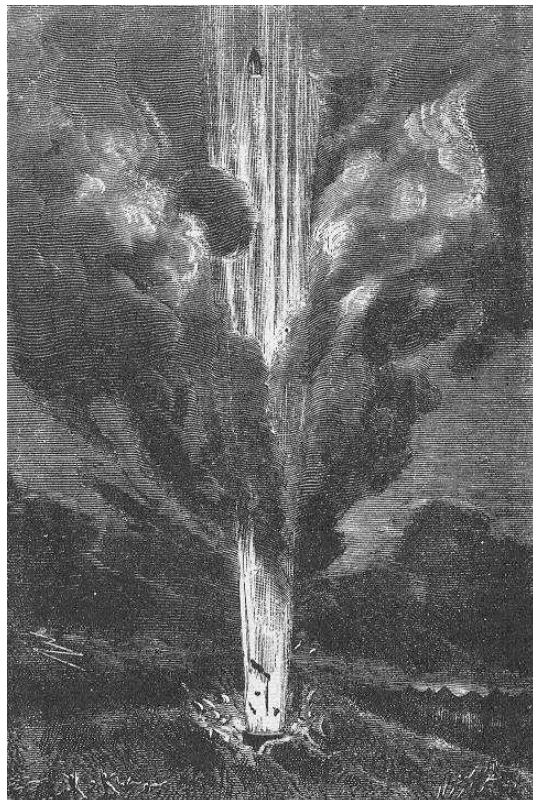


Figura 28. Representación original del cañón de Verne

La primera película de ciencia ficción, *Le Voyage dans la Lune*, dirigida por Georges Méliès, y basada en las novelas "De la Tierra a la Luna" y "Alrededor de la Luna", de Julio Verne y "Los primeros hombres en la Luna", de Herbert George Wells, reproduce el lanzamiento imaginado por Verne.

A.44. ¿Por qué este método nunca ha sido utilizado para poner satélites en órbita?

Comentarios A.44. Se pueden mencionar dos razones. En primer lugar, porque el proyectil tiene que pasar de 0 a 11,2 km/s en los 300 m de longitud del cañón, para

lo que son necesarias aceleraciones muy superiores a 10g, máximo tolerable por el ser humano. El profesor puede calcular la aceleración que es necesario comunicar al proyectil para que en la boca del cañón su velocidad sea igual a la de escape. En segundo lugar porque esas velocidades tan elevadas se obtienen en las capas más bajas de la atmósfera, donde ésta es más densa, con lo cual la fuerza de rozamiento es mayor. En consecuencia si el proyectil no se funde por el rozamiento, se verá muy frenado.

A.45. ¿Por qué los cohetes se lanzan desde puntos de la superficie terrestre lo más próximos posible al Ecuador?

Comentarios A.45. En la actividad anterior podemos ver que la velocidad de rotación de la Tierra sobre sí misma, que es máxima en el Ecuador, se sumará a la del cohete (siempre que se lance en el sentido de rotación de la Tierra). Por tanto la velocidad que se ha de comunicar al cohete es menor cuanto más próxima esté la órbita al Ecuador. Por eso la URSS lanzaba sus cohetes desde Kazajstán (y Rusia sigue haciéndolo) y Europa los lanza desde la Guayana Francesa.

A.46. En los medios de comunicación suelen aparecer expresiones como: "Un astronauta en un satélite en órbita terrestre se encuentra en estado de ingravidez, no pesa". Comenta dicha afirmación.

Comentarios A.46. Los astronautas se encuentran en caída libre permanente y en esta situación el peso del astronauta es cero. Esto implica que para medir su masa corporal debe utilizarse algún tipo de sistema distinto a la balanza habitual. NASA utiliza el "body mass measurement device" (BMMD) y calcula la masa a partir del período de oscilación de la silla sujeta al soporte (BMMD) utilizando las expresiones del movimiento armónico simple (Carnicer, Reyes, & Guisasaola, 2012). Otra idea que aparece en los alumnos y también en el propio Verne es que la gravedad solo desaparece en el punto neutro entre la Tierra y la Luna, es decir, el punto donde se igualan las fuerzas de atracción de la Luna y la Tierra.

A.47. ¿Qué aplicaciones tienen los satélites artificiales?

Comentarios A.47. Desde el lanzamiento del Sputnik las “aplicaciones” bélicas se han desarrollado considerablemente (espionaje, colocación de armas en órbita dispuestas para el lanzamiento de proyectiles en cualquier momento...). Un paso más allá es la llamada "guerra de las galaxias" con la que el gobierno de EEUU pretende dotarse de un imposible "escudo inexpugnable" capaz de destruir cualquier misil enemigo, que implica su negativa a firmar un tratado sobre el uso pacífico del espacio. Esta negativa impulsa la carrera armamentista que podía haberse frenado al final de la guerra fría y que absorbe recursos impresionantes impidiendo atender las necesidades de los miles de millones de seres humanos que viven en la miseria.

Pero no podemos olvidar tampoco que hoy en día gran parte del intercambio y difusión de la información que circula por el planeta, en tiempo real, tiene lugar con el concurso de satélites, la TV vía satélite, Internet, o la nueva telefonía móvil. Aunque la mayor parte de estas últimas viajan por fibra óptica. Y lo mismo se puede señalar del comercio internacional, del control de las condiciones meteorológicas (con ayuda del Meteosat), de la detección de bancos de pesca, el seguimiento de la evolución de los ecosistemas amenazados (incendios, debilitamiento de la capa de ozono, procesos de desertización, extinción de especies...), la instalación de telescopios capaces de observar el firmamento sin la limitación de la atmósfera terrestre, las denominadas sondas como las Pioneer, Voyager, etc., cuyos espectrómetros ultravioletas envían datos sobre las galaxias, enanas, blancas, etc. Son pocas las actividades humanas que no se ven hoy facilitadas por la combinación de ordenadores, telefonía y satélites artificiales.

Puede verse la siguiente infografía recoge el lanzamiento de todos los satélites desde 1957 <http://vimeo.com/33014648#>, y comentar los datos finales.

A.48. ¿Qué consecuencias tiene la existencia de la chatarra espacial? ¿Qué tipo de medidas se deberían adoptar para resolver el problema?

Comentarios A.48. Puede proponerse la consulta de la infografía <http://estaticos01.cache.el-mundo.net/especiales/2001/03/ciencia/mir/flash/basura.swf> para obtener información sobre la basura espacial. El siguiente vídeo, de la ESA muestra la acumulación de esta basura espacial desde 1957 a 2000, http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_debris_spotlight

A.49. ¿Qué problemas plantean los viajes espaciales tripulados, incluso a un planeta tan próximo como Marte? ¿Por qué los políticos prefieren este tipo de viajes y los científicos los no tripulados?

Comentarios A.47. Uno de los problemas para realizar viajes tripulados es que hay que garantizar el regreso, y eso aumenta los costes. Además, tenemos el grave problema de la radiación de fondo y el daño que puede producir en las células, tanto a corto plazo (en el sistema nervioso central o mutaciones en las reproductivas) como a largo (cáncer). En órbitas terrestres bajas (estación espacial), la atmósfera y el campo electromagnético terrestre nos protegen de las radiaciones. En órbitas terrestres bajas (la estación espacial), la atmósfera y el campo magnético terrestre nos protegen de las radiaciones. En viajes a la Luna (tres días de ida), puede no considerarse el problema de las radiaciones, pero en viajes a Marte (nueve meses de ida) es necesario blindar la nave, lo que encarece considerablemente el despegue. Además, en Marte no hay protección: falta de campo magnético y atmósfera muy débil. Por otra parte se ha comprobado en la estación espacial que en condiciones de baja gravedad el cuerpo padece estrés, se produce atrofia muscular, descalcificación, depresión del sistema inmunitario, diarrea endémica, perturbación de los ciclos del sueño. En viajes largos no sería suficiente la medicación y el ejercicio físico; sería necesario diseñar naves que hicieran rotación. Las misiones tripuladas suponen simbolismo y propaganda, aunque las no tripuladas consiguen mejores resultados científicos a menor coste (Park, 2003).

Pero queremos señalar que el final del tema constituye una ocasión privilegiada para abordar aspectos fundamentales de la actividad científica, como lo referido a la recapitulación y las perspectivas abiertas con los desarrollos abordados. Por esta razón, se propone ahora un grupo de actividades que permiten recapitular todo lo estudiado en el tema.

A. Indica las aportaciones de interés que ha supuesto el estudio del tema.

A. ¿Qué campos del conocimiento quedan integrados a partir del modelo heliocéntrico y su desarrollo?

A. ¿Qué relación existe entre la evolución de los conocimientos abordados en este tema y las transformaciones de la propia sociedad?

A. Visitar un planetario con el fin de realizar un trabajo posterior sobre sus aportaciones para la comprensión de los conceptos abordados en el tema.

A. Realiza un seguimiento de las noticias aparecidas en la prensa durante varias semanas relacionadas con la gravitación, viajes espaciales, origen del universo, etc., confecciona un mural con las mismas para la clase y realizar un debate posterior acerca de sus repercusiones en la vida actual.

5.2 Evaluación de la propuesta didáctica

Para evaluar la propuesta se realiza durante el cursos 2010-11, un ensayo piloto de la misma con un grupo de 18 alumnos del investigador. La propuesta reelaborada es la que se presenta en el apartado anterior. El número de alumnos que han utilizado la propuesta didáctica son 99, durante los cursos 2011-2012 y 2012-2013, 40 de Ciencias y 59 de Humanidades y Ciencias Sociales. En ellos el investigador ha utilizado una enseñanza por indagación, más concretamente, estructurando la clase en pequeños grupos, que favorecen el nivel de participación

y la creatividad necesaria para la enseñanza por indagación que se plantea en las actividades.

Dado que se trata de comprobar en qué medida la propuesta contribuye a superar las dificultades de aprendizaje de los estudiantes hemos utilizado para ello el cuestionario ya descrito en el apartado 3.3. Dicho cuestionario se ha aplicado previamente a la impartición de la unidad didáctica (resultados pre).

Posteriormente, la unidad se ha desarrollado en 13 sesiones tal y como muestra la Tabla 36. En la primera columna se señala el número de sesión, en la segunda las actividades realizadas en la sesión (junto con el apartado al que perteneces) y en la tercera las tareas pendientes para casa a corregir en la próxima sesión.

SESIÓN	CONTENIDO DE LA CLASE	TAREAS CASA
1	1 Antecedentes: Primeras ideas sobre el universo	A.3, A.4
	1.1 Las ideas de los pueblos antiguos	
	<i>Realización A.1 y A.2</i>	
2	1.2 Observación del cielo	A.6
	<i>Corrección A.3, A.4 y realización A.6, A.7</i>	
	2 Aplicaciones de la astronomía	A.9
	2.1 Aplicaciones de la astronomía	
3	<i>Realización A.8</i>	A.13
	<i>Corrección A.9 y realización A.10, A.11, A.12, A.14</i>	
4	<i>Corrección A.13</i>	A.19, A.22, A.23
	2.2 Astronomía vs Astrología	
	<i>Corrección A.13 y realización A.15, A.16, A.17</i>	
5	3 Del sistema geocéntrico al heliocéntrico	A.24, A.26 A.27, A.30
	3.1 El sistema geocéntrico	
	<i>Corrección A.19, A.22, A.23 y realización A.18, A.20, A.21</i>	
6	3.2 El sistema heliocéntrico	
	<i>Corrección A.24, A.26, A.27, A.30 y realización</i>	

	A.25, A.28, A.29	
7	4 La síntesis Newtoniana	
	4.1 La síntesis newtoniana	
	<i>Realización A.31, A.32, A.33, A.34, A.35, A.36</i>	
8	4.2 El sistema solar a escala	A.38
	<i>Realización A.37</i>	
9	5 La imagen actual del universo	A.39 - A.40
	5.1 Estrellas	
	<i>Realización A.38</i>	
10	5.2 Miles de millones	A.42
	<i>Realización A.39, A.40</i>	
11	5.3 El génesis	
	<i>Corrección A.42 y realización A.41, A.43</i>	
12	6. La conquista del espacio	
	<i>Realización A.44, A.45, A.46, A.47, A.48, A.49</i>	
13	Salida extraescolar	

Tabla 36. Secuenciación de la propuesta de actividades

En principio puede parecer un tema demasiado extenso para el total de 7 temas que plantea el currículo de la asignatura con un total de 65 sesiones aproximadamente (9-10 sesiones/tema), pero es el primer tema del curso y en él se plantea la metodología a seguir, así que conviene asentarla con el tiempo necesario.

Además de la propuesta de actividades se ha realizado una salida extraescolar, en la que los estudiantes realizaron una visita al jardín de la Astronomía, en la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia, que consiste en una exposición modular para comprender conceptos básicos de Astronomía. El jardín, dispone de materiales (Sección didáctica CAC S.A., 2011) para trabajar antes, durante y después de la visita (Morentin & Guisasola, 2013; Guisasola, Solbes, Barragués, Moreno, & Morentin, 2009). Algunas de las actividades de los materiales para realizar antes de la visita, coinciden con las diseñadas en nuestra propuesta. Durante la visita el alumnado, dividido por grupos, realizó una

explicación de cada módulo al resto de sus compañeros y al profesor, en previsión de una evaluación posterior sobre alguno de los conceptos trabajados en el jardín.

A continuación se vuelve a pasar el cuestionario a los 7 días de terminar de impartirse la secuencia de actividades. Los resultados obtenidos (post) se comparan con los pre, en global e ítem a ítem, para ver si hay diferencias significativas entre los mismos.

También ha parecido interesante comparar estos resultados con la muestra control de 113 alumnos utilizada para la detección de las dificultades. Con el grupo pre no se realiza esta comparación puesto que no se le ha impartido el tema.

Además, y dado que las Ciencias para el Mundo Contemporáneo se imparten a estudiantes de las modalidades de Ciencias y Humanidades y Ciencias Sociales hemos comparado los resultados pre y post de ambos grupos, lo que nos permitirá ver el papel jugado por la formación previa de dichos estudiantes.

Esto se ha completado con entrevistas realizadas a 5 estudiantes, para completar los resultados obtenidos con los ítems.

6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS

En este apartado se realizarán distintas pruebas estadísticas al total de los 99 estudiantes implicados en el estudio (40 en la modalidad de ciencias y 59 en la modalidad de humanidades y ciencias sociales). En los subapartados siguientes aparecen los resultados de esas pruebas estadísticas y en el Anexo II puede encontrarse el detalle de las mismas obtenido con el programa SPSS.

6.1 Comparación de las medias globales entre pre-test y post-test. Prueba de Wilcoxon.

Como ya se había indicado, el cuestionario tienen doce ítems con categorías distintas, seis de ellos con respuestas correctas e incorrectas (2 y 0), y otros seis con respuestas correctas, parcialmente correctas e incorrectas (2, 1 y 0), tal y como se especifican en la Tabla 37.

Dos categorías 2, 0	Tres categorías 2, 1, 0
Ítem 2	Ítem 1
Ítem 4	Ítem 3
Ítem 5	Ítem 6
Ítem 7	Ítem 9
Ítem 8	Ítem 11
Ítem 10	Ítem 12

Tabla 37. Categorías según el ítem

Por tanto, la puntuación global máxima es 24 y la mínima 0 y se pueden obtener puntuaciones impares por la categoría 1.

Para comparar la media global de los grupos pre-test y post-test se utiliza la t de Student o su alternativa no paramétrica. Para elegir entre pruebas paramétricas

y no paramétricas, debe comprobarse si la distribución sigue una distribución Normal o no. Para ello se realiza la prueba de Kolmogorov-Smirnov tanto para la muestra del pre-test como para la muestra del post-test, y solo en el caso en que la prueba indique que ambas distribuciones siguen una ley Normal, se podrán utilizar pruebas paramétricas.

Al realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la variable que contiene la suma de las respuestas de todos los ítems del pre-test, se obtiene una significación asintótica “Sig. asintót.”=0,001, menor que 0,05 y por tanto la variable no sigue una distribución Normal, no pudiendo aplicar pruebas paramétricas (Anexo II). Para la segunda variable considerada, la que corresponde a la suma de las respuestas de todos los ítems del post-test, se obtiene una significación asintótica “Sig. asintót.”=0,050, igual que 0,05 y por tanto la variable sigue una distribución Normal, pudiendo aplicar pruebas paramétricas (Anexo II)

La media obtenida para las puntuaciones en el pre-test es 2,6 y en el post-test la media obtenida es 7,8. Dado que la variable post-test sigue una distribución normal pero la pre-test no lo hace, debe utilizarse una prueba no paramétrica para grupos relacionados, en este caso la prueba de Wilcoxon (Anexo II). Al calcular el estadístico Z, la significación asintótica es “Sig. asintót.”=0,000, menor que 0,05, y por tanto puede afirmarse que existen diferencias significativas estadísticamente entre las medias globales de los grupos pre-test y post-test. Esto significa que puede rechazarse la hipótesis nula, lo que indica, previamente al análisis de cada ítem del cuestionario, que se ha producido una mejora estadísticamente significativa al aplicar el tratamiento.

6.2 Distribución de la diferencia de respuestas correctas entre pre-test y post-test.

Con el fin de detectar la mejora en las puntuaciones globales de los estudiantes, se realiza la resta entre la suma de respuestas correctas en el post-test y la suma de las respuestas correctas en el pre-test. La Figura 29 muestra la distribución en las frecuencias de esta diferencia:

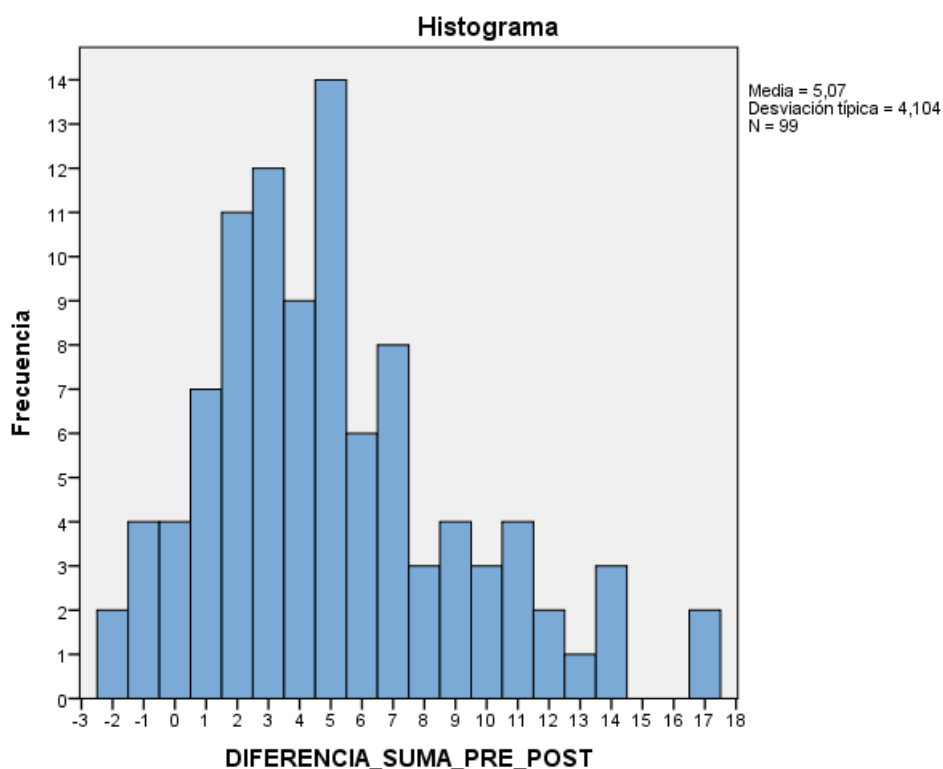


Figura 29. Histograma de la diferencia de respuestas correctas entre pre-test y post-test

La primera columna del histograma anterior muestra que hay 2 estudiantes que empeoraron su puntuación en 2 puntos, lo que indica el fallo de una pregunta más en promedio en el post-test que en el pre-test. De igual forma, hay 4

estudiantes que disminuyeron su puntuación en 1 punto, lo que quiere decir que tuvieron una pregunta solo parcialmente correcta menos en el post-test que en el pre-test. La tercera columna del histograma muestra como otros 4 estudiantes, obtuvieron la misma puntuación en pre-test y post-test. Los 89 estudiantes restantes mejoraron su puntuación, obteniendo una mejora cercana a 5 puntos en promedio, y por tanto que contestaron correctamente 2 preguntas y una parcialmente correcta en promedio mejor en el post-test que en el pre-test.

6.3 Comparación de los resultados obtenidos en cada ítem del cuestionario en el pre-test y en el post-test. Contrastes de homogeneidad marginal: McNemar y Stuart-Maxwell.

En este apartado se procede a calcular algunas pruebas de homogeneidad marginal, con el fin de comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas en cada uno de los ítems del pre-test y el post-test.

Como ya se señala con anterioridad, los doce ítems del cuestionario tienen categorías distintas, seis de ellos con respuestas correctas e incorrectas (2 y 0), y otros seis con respuestas correctas, parcialmente correctas e incorrectas (2, 1 y 0), como aparece en la Tabla 37.

Esta diferencia en las categorías de cada ítem, hace que no se pueda aplicar la misma prueba de contraste de homogeneidad marginal para todos. Para constatar la significación de los cambios en el caso de los ítems con dos categorías, se utiliza la prueba no paramétrica de McNemar. Para los ítems con tres categorías con distribuciones que no se asemejan a la normal, se realiza la prueba no paramétrica Stuart-Maxwell.

Además se presentan las tablas de contingencia puesto que contienen información sobre el número de alumnos que han empeorado o mejorado en cada uno de los ítems.

➤ **Ítem 1: Explica cómo te orientarías de noche y de día**

A partir de la tabla de contingencia para el ítem 1, pueden observarse los alumnos que no han sufrido cambios con los datos de la diagonal principal: 43 estudiantes que se habían equivocado en el pre-test, siguen haciéndolo en el post-test; 4 estudiantes que dieron una respuesta parcialmente correcta en el pre-test también lo hicieron en el post-test; y 5 estudiantes que dieron una respuesta correcta en el pre-test, también lo hicieron en el post-test. La tabla de contingencia para el ítem 1 es la siguiente:

ÍTEM 1		POST		
		0	1	2
PRE	0	43	25	14
	1	3	4	3
	2	1	1	5

Tabla 38. Tabla de contingencia para el ítem 1

El triángulo superior derecho de la tabla muestra las mejoras en los estudiantes: Entre los que contestaron de forma incorrecta en el pre-test, 25 consiguieron una respuesta parcialmente correcta en el post-test y 14 una respuesta totalmente correcta; además 3 alumnos mejoraron su respuesta de parcial a totalmente correcta.

El triángulo inferior izquierdo de la tabla muestra las repuestas que empeoraron: 3 alumnos que dieron una respuesta parcialmente correcta en el pre-test, fallaron en el post-test; 1 alumno con respuesta correcta en el pre-test, falló en el post-test; por último, 1 alumno que dio una respuesta correcta en pre-test, solo alcanzó una parcialmente correcta en el post-test.

El resultado de la prueba de Stuart-Maxwell para este ítem es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05 puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas al ítem 1 en pre-test y post-test.

➤ **Ítem 2: Comenta la frase: “El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste”.**

La tabla de contingencia para el ítem 2 puede comentarse de igual forma que la anterior, solo que al tener este ítem dos categorías la tabla es de 2x2. En la diagonal principal aparecen los estudiantes que se han mantenido igual: 28 estudiantes que en el pre-test contestaron erróneamente a la pregunta, siguieron haciéndolo en el post-test; 27 estudiantes que contestaron correctamente en el pre-test, también lo hicieron en el post-test.

ÍTEM 2		POST	
		0	2
PRE	0	28	39
	2	5	27

Tabla 39. Tabla de contingencia para el ítem 2

El triángulo superior derecho del que hablábamos en el ítem anterior, aquí ha quedado reducido a un elemento. Estos son los alumnos que mejoran, 39 estudiantes que en el pre-test contestaron incorrectamente (0) y en el post-test dieron con la respuesta correcta (2).

El triángulo inferior izquierdo, de nuevo reducido a un solo elemento, indica los estudiantes que han empeorado, 5 alumnos que contestaron correctamente en el pre-test equivocaron su respuesta en el post-test.

El resultado para la prueba de McNemar es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05 puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 2 en pre-test y post-test.

➤ **Ítem 3: Señala aplicaciones que conozcas sobre la astronomía e indica en que observaciones se basan.**

Para este ítem y los siguientes puede hacerse una lectura de las tablas de contingencia similar a la realizada en los ítems anteriores. La tabla de contingencia para el ítem 3 es la siguiente:

ÍTEM 3		POST		
		0	1	2
PRE	0	63	18	8
	1	4	2	1
	2	0	1	2

Tabla 40. Tabla de contingencia para el ítem 3

El resultado de la prueba de Stuart-Maxwell para este ítem es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 3 en pre-test y post-test.

➤ **Ítem 4: ¿Cómo podemos explicar astronómicamente las estaciones del año?**

La tabla de contingencia para el ítem 4 es la siguiente:

ÍTEM 4		POST	
		0	2
PRE	0	53	38
	2	2	6

Tabla 41. Tabla de contingencia para el ítem 4

El resultado para la prueba de McNemar es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 4 en pre-test y post-test.

➤ **Ítem 5: Explica las fases de la Luna.**

La tabla de contingencia para el ítem 5 es la siguiente:

ÍTEM 5		POST	
		0	2
PRE	0	89	10
	2	0	0

Tabla 42. Tabla de contingencia para el ítem 5

El resultado para la prueba de McNemar es que “Sig. asintót.”=0,002 y por tanto menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 5 en pre-test y post-test.

➤ **Ítem 6: Qué hechos pusieron en cuestión el modelo geocéntrico.**

La tabla de contingencia para el ítem 6 es la siguiente:

ÍTEM 6		POST		
		0	1	2
PRE	0	65	29	4
	1	0	0	1
	2	0	0	0

Tabla 43. Tabla de contingencia para el ítem 6

El resultado de la prueba de Stuart-Maxwell para este ítem es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 6 en pre-test y post-test.

➤ **Ítem 7. Explica como la observación de la Vía Láctea demuestra que estamos en una galaxia.**

La tabla de contingencia para el ítem 7 es la siguiente:

ÍTEM 7		POST	
		0	2
PRE	0	81	18
	2	0	0

Tabla 44. Tabla de contingencia para el ítem 7

El resultado para la prueba de McNemar es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 7 en pre-test y post-test.

- **Ítem 8.** Si la distancia del Sol a Neptuno fuera como un campo de fútbol (110 m), ¿qué tamaño crees que tendría la Tierra? ¿y el Sol? ¿y Júpiter?

La tabla de contingencia para el ítem 8 es la siguiente:

ÍTEM 8		POST	
		0	2
PRE	0	92	5
	2	2	0

Tabla 45. Tabla de contingencia para el ítem 8

El resultado para la prueba de McNemar es que “Sig. asintót.”=0,453 y por tanto mayor que 0,05, puede concluirse que no existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 8 en pre-test y post-test.

- **Ítem 9:** Cita tecnologías que han contribuido al desarrollo de la astronomía.

La tabla de contingencia para el ítem 9 es la siguiente:

ÍTEM 9		POST		
		0	1	2
PRE	0	5	4	8
	1	6	25	20
	2	0	10	21

El resultado de la prueba de Stuart-Maxwell para este ítem es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 9 en pre-test y post-test.

➤ **Ítem 10: Explica con tus propias palabras la expansión del universo.**

La tabla de contingencia para el ítem 10 es la siguiente:

ÍTEM 10		POST	
		0	2
PRE	0	58	35
	2	2	4

Tabla 46. Tabla de contingencia para el ítem 10

El resultado para la prueba de McNemar es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 10 en pre-test y post-test.

➤ **Ítem 11. ¿Qué pruebas hay de la expansión del universo?**

La tabla de contingencia para el ítem 11 es la siguiente:

ÍTEM 11		POST		
		0	1	2
PRE	0	64	29	4
	1	0	2	0
	2	0	0	0

Tabla 47. Tabla de contingencia para el ítem 11

El resultado de la prueba de Stuart-Maxwell para este ítem es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 11 en pre-test y post-test.

➤ **Ítem 12. Comenta la frase: “La astronomía y la astrología son ciencias distintas”**

La tabla de contingencia para el ítem 12 es la siguiente:

ÍTEM 12		POST		
		0	1	2
PRE	0	54	11	18
	1	0	1	8
	2	0	0	7

Tabla 48. Tabla de contingencia para el ítem 12

El resultado de la prueba de Stuart-Maxwell para este ítem es que “Sig. asintót.”=0,000 y por tanto menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula y concluir que existen diferencias significativas entre las respuestas al ítem 12 en pre-test y post-test.

Los test de homogeneidad realizados para cada una de las parejas de ítems en pre-test y post-test, muestran que existen diferencias significativas para todos los ítems excepto para el ítem 8 (ver Tabla 49)

ÍTEM	Sig. asintót.	Diferencia estadísticamente ($\alpha < 0,05$) significativa
1. Explica cómo te orientarías de noche y de día.	0.000	Sí
2. Comenta la frase: “El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste”.	0.000	Sí
3. Señala aplicaciones que conozcas sobre la astronomía e indica en que observaciones se basan.	0.000	Sí
4. ¿Cómo podemos explicar astronómicamente las	0.000	Sí

estaciones del año?		
5. Explica las fases de la Luna.	0.002	SÍ
6. Qué hechos pusieron en cuestión el modelo geocéntrico.	0.000	SÍ
7. Explica como la observación de la Vía Láctea demuestra que estamos en una galaxia.	0.000	SÍ
8. Si la distancia del Sol a Neptuno fuera como un campo de fútbol (110 m), ¿qué tamaño crees que tendría la Tierra? ¿y el Sol? ¿y Júpiter?	0.453	NO
9. Cita tecnologías que han contribuido al desarrollo de la astronomía.	0.005	SÍ
10. Explica con tus propias palabras la expansión del universo.	0.000	SÍ
11. ¿Qué pruebas hay de la expansión del universo?	0.000	SÍ
12. Comenta la frase: “La astronomía y la astrología son ciencias distintas”	0.000	SÍ

Tabla 49. Significación asintótica bilateral para cada uno de los ítems

A continuación se analizan los resultados de los diferentes ítems, lo que permite comprender las mejoras producidas y por qué en el ítem 8 no hay diferencias significativas.

6.4 Porcentaje de respuestas correctas entre los grupos pre-test y post-test.

Con el objetivo de valorar las respuestas a cada ítem, la Figura 30 muestra los porcentajes de respuestas correctas (categorías parcial y totalmente correctas sumadas) para cada ítem en los grupos control (apartado 4.3.1), pre-test y post-test.

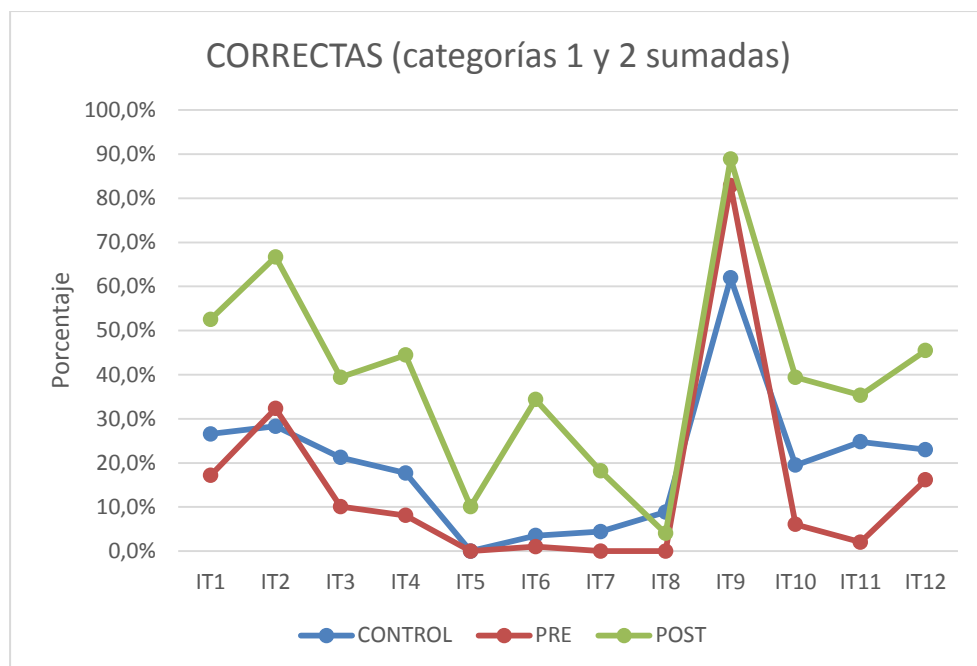


Figura 30. Representación del porcentaje de la suma de respuestas correctas y parcialmente correctas de cada ítem

En esta gráfica se han contado el número de respuestas correctas y se ha realizado el porcentaje sobre el total de alumnos, y puede observarse como, en líneas generales, los puntos discurren por el gráfico manteniendo la forma en pre y post. Además se aprecian sensibles diferencias entre el grupo control y el pos-test, como cabía esperar.

6.4.1 Descripción detallada por categorías de cada ítem

A continuación se describe lo que ha sucedido en cada ítem detallando las respuestas según categorías. Estas aparecen en la primera columna de las tablas siguientes, la segunda columna contiene la codificación asignada para realizar el tratamiento estadístico, la tercera el porcentaje de estudiantes que la contestaron

en el pre-test y la cuarta el porcentaje de estudiantes que lo hicieron en el post-test.

➤ **Ítem 1: Explica cómo te orientarías de noche y de día**

La Tabla 50 muestra los resultados obtenidos por los alumnos en los cuestionarios pre-test y post-test.

Categoría	Puntos	PRE	POST
Explican correctamente ambas situaciones, el día y la noche	2	7.1%	22.2%
Explican correctamente una situación, bien de día, bien de noche	1	10.1%	30.3%
Respuestas incorrectas	0	75.8%	47.5%
No contesta	0	7.1%	0%

Tabla 50. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 1 en pre-test y post-test

En este ítem podían darse respuestas totalmente correctas, en las que el estudiante indicara la forma de orientarse tanto de día como de noche, o parcialmente correctas en las que solo indicara una de las formas. En el pre-test un 7,1% de los estudiantes ha sido capaz de dar una respuesta totalmente correcta y un 10,1% de los estudiantes se refiere a la orientación en uno de los dos casos, bien de día, bien de noche. En el post-test se han mejorado estos porcentajes, habiendo un 22,2% de los estudiantes que han conseguido ofrecer una respuesta que explica ambas situaciones y un 30,3% que explican una situación. Estas respuestas contenían distinto tipo de detalle, desde las menos numerosas que detallaban algún procedimiento, *“De día orientando la aguja de las horas del reloj hacia el sur, el sur geográfico corresponde a la hora solar, menos dos horas en verano y menos una hora en invierno”*; a las que identificaban las parejas Norte-Estrella Polar y Este-Salida del Sol. Esta mejora no solo se debe al aprendizaje por parte de los

alumnos de una forma de orientación, sino a la intención, que impregna todo el tratamiento, de mostrar la necesidad de la astronomía para la especie, si bien actualmente la orientación puede parecer cosa del pasado debido a los modernos sistemas de geolocalización.

El número de estudiantes que ofrecen repuestas incorrectas se ha reducido considerablemente pasando de un 75,8% a un 47,5%, en el post-test. Estas, contienen enunciados poco precisos o erróneos del estilo *“De día según la posición del Sol y de noche según la posición de la estrella Polar”*.

La categoría no contesta ha desaparecido por completo en el post-test, pasando de un 7,1% de los estudiantes en el pre-test al 0% en el post-test.

Como comentario anecdótico señalar que después del tratamiento del tema, todavía se encuentra una respuesta que identifica las parejas día-Sol noche-Luna de la forma: *“De día se ve que es de día porque sale el Sol. De noche porque sale la Luna”*, error común y ya señalado en la bibliografía (Camino, 1998).

➤ **Ítem 2: Comenta la frase: “El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste”.**

En la Tabla 51 se encuentran los porcentajes de las respuestas a este ítem:

Categoría	Puntos	PRE	POST
Respuesta correcta	2	32,3%	66,7%
Confusión explícitamente geocéntrica, incluso repitiendo la misma frase	0	32,3%	16,2%
Otras respuestas incorrectas	0	16,2%	11,1%
No contesta	0	19,2%	6,1%

Tabla 51. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 2 en pre-test y post-test

Las respuestas correctas a este ítem han aumentado más del doble, pasando de un 32,3% en el pre-test a un 66,7% en el post-test. Como respuestas

correctas, recordemos que se incluían aquellas que detectaban en la frase el lenguaje geocéntrico implícito, o aquellas que señalaban que el Sol no siempre sale exactamente por el Este. Así, algunas de las contestaciones explican que *“La Tierra al girar alrededor del Sol y sobre sí misma hace que ocurra este fenómeno”* o *“... solo dos días al año se cumple...”*.

Entre las respuestas incorrectas, la tabla distingue tres categorías: Aquellas en las que el alumno manifiesta una confusión explícitamente geocéntrica han disminuido su porcentaje hasta la mitad, pasando de un 32,3% a un 16,2%. Con contestaciones del tipo: *“... el Sol va girando alrededor de la Tierra de Este a Oeste”* o *“Que el Sol hace un movimiento circular a la Tierra”*, queda manifiesto un pensamiento geocéntrico. Dentro de este porcentaje también se incluyen aquellas que se limitan a repetir la misma frase con más o menos adorno, del estilo a *“El Sol sale por la parte Este, sube, y cuando ya se está poniendo, lo hace por el Oeste”*. La existencia de estas confusiones, dan cuenta de la fuerte relación existente entre la observación y la creación de un modelo, puesto que cualquier alumno en este nivel se entiende que es capaz de señalar el modelo heliocéntrico como el más cercano a la realidad (en parte por la abundancia de representaciones del sistema solar), al ser preguntados muchos mantienen la idea del movimiento del Sol alrededor de la Tierra. En este sentido, el tratamiento realizado se ha revelado como bastante eficaz.

Previamente a dejar la respuesta en blanco, la categoría de otras respuestas incorrectas engloba a aquellas en las que el estudiante muestra otro tipo de confusiones, como la que a modo de ejemplo, aparece en la siguiente contestación: *“El Sol sale por el Este y haciendo media circunferencia, se esconde por el lado contrario, ya que el eje de la Tierra está un poco de lado”*

La categoría no contesta se ha visto reducida de un 19,2% a un 6,1%, lo que indica que al menos, el alumnado ha tratado de encontrar ahora una explicación a esta afirmación coloquial.

➤ **Ítem 3: Señala aplicaciones que conozcas sobre la astronomía e indica en que observaciones se basan**

En la Tabla 52 se muestran los porcentajes obtenidos para el pre-test y post-test según las categorías escogidas.

Categoría	Puntos	PRE	POST
Citan aplicaciones indicando la observación en que se basan	2	3,0%	10,1%
Citan aplicaciones sin indicar observaciones	1	7,1%	29,3%
Respuestas incorrectas	0	22,2%	16,2%
No contesta	0	67,7%	44,4%

Tabla 52. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 3 en pre-test y post-test

Cómo se indicaba en el apartado correspondiente a los criterios de valoración del cuestionario, en este ítem se consideraban respuestas totalmente correctas aquellas que, además de indicar alguna aplicación de la astronomía, explican la observación en la que se basa. Así, el porcentaje de estudiantes que contestaron correctamente aumentó de un 3,0% a un 10,1%.

Entre los estudiantes que puede considerarse han dado una respuesta parcialmente correctas se encuentran aquellos que, a pesar de señalar alguna aplicación, no dan cuenta de ella con ninguna observación. El porcentaje de estos, aumenta casi en la misma proporción que los anteriores, de un 7,1% a un 29,3%.

Esta evidente mejora en el porcentaje de estudiantes que contestaron total o parcialmente a la pregunta, es consecuencia como ya se señalaba en el ítem 1, de

la insistencia al realizar el tratamiento en mostrar las aplicaciones de la astronomía, evitando dejarla caer como una ciencia de lo lejano e inmenso, o como una simple acumulación de conceptos abstractos.

Si se cuentan el número de respuestas correctas y se clasifican según el tipo de estas, se observa que algunas han mejorado sensiblemente, como las respuestas que están relacionadas con el calendario que han pasado de 5 en el pre-test a 25 en el post-test; las que guardan relación con la agricultura, de 2 en el pre-test a 11 en el post-test; y las que tienen que ver con la orientación de 1 en el pre-test a 13 en el post-test. Otras contestaciones han quedado prácticamente igual, como las que hacen referencia al uso de satélites que se han mantenido en 2 en el pre-test y en el post-test; la meteorología, que ha pasado de 1 en el pre-test a 3 en el post-test; las mareas de 1 en el pre-test a 1 en el post-test y por último la supervivencia de la especie que se mantiene igual con 1 en el pre-test y 1 en el post-test. Este último detalle obtenido sobre el total de respuestas correctas, indica como la mejora se ha producido únicamente en las que podrían indicarse como aplicaciones clásicas de la astronomía (calendario, agricultura y orientación). Las otras aplicaciones astronómicas, más modernas (satélites, meteorología, mareas y supervivencia a largo plazo de la especie) se han mantenido prácticamente iguales en el número de respuestas. Esto es debido al tratamiento realizado, que ha comenzado con un tratamiento histórico de la astronomía, mostrando el interés de las aplicaciones clásicas de la astronomía para el desarrollo de la civilización. En él se insiste en la necesidad del nacimiento de la astronomía como ciencia que ayuda a resolver problemas fundamentales del ser humano (alimentarse, desplazarse), mostrando el interés de los pueblos antiguos en la astronomía para llegar a la visión actual del universo.

En respuestas incorrectas se encuentran los porcentajes de aquellos estudiantes que señalaron más que aplicaciones, conocimientos del tipo “*distancias a estrellas*”, “*composición de planetas*”, “*origen del universo*”, etc. Además, se incluyen respuestas algo más confusas y también las de estudiantes que consideraban a los horóscopos como aplicación de la astronomía. El porcentaje de estudiantes con respuestas pertenecientes a esta categoría se ha reducido de un 22,2% a un 16,2%.

Por último, comentar que los estudiantes que no encontraron respuesta a este ítem, han disminuido de un 67,7% a un 44,4%.

➤ **Ítem 4: ¿Cómo podemos explicar astronómicamente las estaciones del año?**

La Tabla 53 resume las respuestas ofrecidas en forma de porcentajes de estudiantes:

Categoría	Puntos	PRE	POST
Explican astronómicamente las estaciones nombrando la inclinación del eje	2	7,1%	42,4%
Explican cómo determinar astronómicamente mediante la observación de las constelaciones estacionales	2	1,0%	2,0%
Respuestas incorrectas	0	64,6%	53,5%
No contesta	0	27,3%	2,0%

Tabla 53. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 4 en pre-test y post-test

Aunque lo habitual en este ítem es explicar la causa de las estaciones como consecuencia de la inclinación del eje terrestre, también es cierto que puede determinarse la estación en la que nos encontramos mediante el grupo de constelaciones visibles en ese momento, constelaciones estacionales. Así, que

ambas contestaciones se han considerado correctas. La respuesta correcta mayoritaria ha multiplicado por seis el porcentaje de estudiantes que la dieron en el pre-test y en el post-test, pasando de ser de un 7,1% a un 42,4%. Estas respuestas suelen ser concisas del estilo a *“La Tierra al estar inclinada hay épocas del año en que en una parte es invierno y en otra verano”*, o respuestas más extensas como *“Las estaciones del año se producen a causa de la inclinación de 24° de la Tierra (... que hace que) los rayos del Sol caigan sobre la Tierra en un determinado ángulo. Las estaciones del año no se definen por la proximidad de la Tierra al Sol. En verano, por ejemplo, la Tierra está más alejada”*. Esta mejora significativa puede deberse a que con las actividades realizadas el estudiante recuerda de su formación anterior, que la inclinación de los rayos de Sol (consecuencia de la inclinación del eje terrestre) es la causante del aumento de la temperatura y por tanto de las estaciones. La insistencia en el hecho de que la órbita de la Tierra es prácticamente circular, y la aparente contradicción para el estudiante de que en el hemisferio Norte es verano cuando la Tierra está más alejada del Sol, contribuyen a reforzar este conocimiento olvidado. Esto último puede intuirse al observar que mientras en el pre-test hubo 3 estudiantes que señalaron de alguna forma la diferencia entre hemisferios, en el post-test fueron 9 los que dieron cuenta de este detalle.

Aunque muy minoritarias, también existen contestaciones que van dirigidas a explicar la estación presente mediante las constelaciones estacionales visibles en ese momento. El porcentaje de estudiantes, ha pasado de un 1% a un 2%.

Las respuestas incorrectas disminuyen de un 64,6% a un 53,5% de los estudiantes. Dentro de estas respuestas incorrectas. Los estudiantes que creían en la distancia como causa de las estaciones han disminuido, pasando de un 34,3% a

un 23,2%. Es habitual encontrar la causa de las estaciones con la distancia al Sol en respuestas similares a *“Las estaciones se explican por la distancia al Sol. Cuando más cerca está más calor llega a la Tierra, esto pasa en verano, y cuando la Tierra se va alejando llega menos temperatura al Sol”*. Las respuestas que no ofrecían una explicación clara se han mantenido en un 30,3% en ambos test.

La mejoría producida en las respuestas correctas, se debe en su mayoría a que la categoría *No contesta* ha visto reducido su porcentaje de estudiantes de 27,3% a 2,0%.

➤ **Ítem 5: Explica las fases de la Luna.**

La Tabla 54 muestra los porcentajes de estudiantes para cada una de las categorías:

Categoría	Puntos	PRE	POST
Explica las fases de la Luna correctamente	2	0,0%	10,1%
Respuestas incorrectas	0	78,8%	77,8%
No contesta	0	21,2%	12,1%

Tabla 54. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 5 en pre-test y post-test

Este ítem no posee ninguna respuesta correcta en el pre-test, dejando en evidencia que bien la pregunta no ha sido entendida, o bien que el alumnado olvida rápidamente la relación en las posiciones Sol-Tierra-Luna que provoca las fases de esta última. Esta confusión es máxima en un alumno del pre-test cuando contesta *“la Luna nunca se esconde, va dando vueltas alrededor de la Tierra, entonces medio día se encuentra en mitad de la Tierra y medio día en la otra mitad”*. El estudio de las fases lunares, además de en la educación primaria (6-12 años), se realiza, según documento oficial del estado, en el primer curso de la educación secundaria (13 años) y está estudiado en la bibliografía desde diferentes

ángulos (Trundle, Atwood, & Chistopher, 2007; Vega Navarro, 2001; Trumper, 2001; Mulholland & Ginns, 2008; Ogan-Bekiroglu, Feral., 2007). Después de aplicar el tratamiento, los resultados del post-test son mejores con algunas respuestas que incluyen dibujos similares a la Figura 31, pero apenas se alcanza un 10%, lo que indica la complejidad del problema, porque supone relacionar las observaciones de la Luna realizadas desde la superficie de la Tierra con el diagrama de la Luna alrededor de la Tierra iluminadas por el Sol (y vistas por un observador situado sobre el plano Tierra, Luna y Sol), lo que no es nada sencillo. Aunque hay diferencias significativas esto sugiere un tratamiento más intensivo en próximas ocasiones.

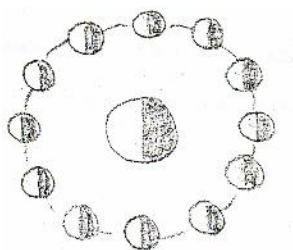


Figura 31. Dibujo para la explicación de las fases de la Luna realizado por un estudiante

Los estudiantes que realizaron respuestas incorrectas mantuvieron porcentajes similares en pre-test y post-test, disminuyendo ligeramente al pasar de 78,8% a 77,8%.

Por último, señalar que el porcentaje de estudiantes que no supo contestar la pregunta disminuyó de un 21,2% a un 12,1%.

➤ **Ítem 6: Qué hechos pusieron en cuestión el modelo geocéntrico.**

La Tabla 55 muestra las respuestas al ítem 6 en las distintas categorías propuestas:

Categoría	Puntos	PRE	POST
Contesta con dos hechos o más	2	0,0%	5,1%
Contesta con un hecho	1	1,0%	29,3%
Respuestas incorrectas	0	37,4%	36,4%
No contesta	0	61,6%	29,3%

Tabla 55. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 6 en pre-test y post-test

En el pre-test, ninguno de los estudiantes fue capaz de dar una respuesta totalmente correcta a la cuestión, que incluyera al menos dos hechos que cuestionaran el modelo geocéntrico. Además, tan solo un 1% de los estudiantes, dan una respuesta parcialmente correcta citando al menos un hecho. Estos porcentajes mejoran en el post-test, puesto que un 5,1% de los estudiantes consigue citar un mínimo de dos hechos y un 29,3% contesta con uno de ellos. Entre estas respuestas correctas, el hecho más ampliamente citado es el de la no concordancia de la órbita de algunos planetas con el modelo de Ptolomeo, señalada por un 26,3% de estudiantes. El descubrimiento de los satélites de Júpiter con 11,1% y las fases de Venus con 5,1% de los estudiantes, son los otros hechos señalados. Estos tres últimos porcentajes no suman el porcentaje total de respuestas correctas puesto que las categorías no son disjuntas.

La diferencia de respuestas correctas en pre-test y post-test es mayor que en el resto de ítems del cuestionario de alumnos (ver Figura 30). Este hecho puede ser debido a que tanto en cursos anteriores, como en un tratamiento habitual, en el mejor de los casos no se insiste en la explicación de las observaciones a partir de los modelos cosmológicos previos al actual, y en el peor no se realiza un tratamiento histórico. El tratamiento realizado busca ambos objetivos, un acercamiento histórico que revele las dificultades que surgieron, y una explicación de las observaciones a partir de un determinado modelo.

El número de estudiantes que ofrece respuestas incorrectas disminuye levemente entre pre-test y post-test, siendo de 37,4% en el primero y 36,4% en el segundo.

La categoría que contiene a los estudiantes con respuestas en blanco disminuye sensiblemente pasando de un 61,6% a un 29,3%.

➤ **Ítem 7. Explica como la observación de la Vía Láctea demuestra que estamos en una galaxia.**

La Tabla 56 muestra las respuestas al ítem 6 en las distintas categorías propuestas:

Categoría	Puntos	PRE	POST
Agrupación de estrellas en el plano de la Galaxia	2	0,0%	18,2%
Respuestas incorrectas	0	23,2%	56,6%
No contesta	0	76,8%	25,3%

Tabla 56. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 7 en pre-test y post-test

Igual que sucedía en el ítem 5, ningún estudiante es capaz de contestar correctamente en el pre-test a la pregunta que les pide que expliquen como la observación de la Vía Láctea demuestra que estamos en una galaxia. El porcentaje de estudiantes que contestan correctamente sube a 18,2% en el post-test con respuestas del estilo *“Al observar las estrellas se ve que forman un sistema en forma de lente, una galaxia. Si miramos las estrellas en dirección a la galaxia vemos muchas estrellas, en cambio si miramos en perpendicular pocas, por tanto la Vía Láctea corresponde al plano de la Galaxia.”*

De nuevo se produce una ausencia de respuestas correctas en el pre-test en una pregunta relacionada con la observación, fruto tal vez de una enseñanza de la astronomía demasiado teórica siendo una disciplina muy observacional. La

mejora debida al tratamiento tiene su origen en la insistencia en explicar los modelos a partir de las observaciones que ya se ha citado anteriormente.

El porcentaje de estudiantes que dio respuestas incorrectas aumentó de 23,2% en el pre-test a 56,6% en el post-test, aumento que como puede verse en la tabla, se debe al intento de no dejar la cuestión en blanco.

La última categoría, que corresponde con los estudiantes que dejaron la cuestión sin contestar, disminuye de 76,8% en el pre-test a 25,3% en el post-test.

➤ **Ítem 8. Si la distancia del Sol a Neptuno fuera como un campo de fútbol (110 m), ¿qué tamaño crees que tendría la Tierra? ¿y el Sol? ¿y Júpiter?**

En la Tabla 57 se muestran los porcentajes de respuestas para el ítem 8.

Categoría	Puntos	PRE	POST
Acierta con las proporciones y con el orden de magnitud	2	2,0%	1,0%
La respuesta guarda las proporciones, aunque no da con la escala	2	0,0%	4,0%
Respuestas incorrectas	0	20,2%	34,3%
No contesta	0	77,8%	60,6%

Tabla 57. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 8 en pre-test y post-test

Como ha podido observarse en el tratamiento estadístico realizado anteriormente (ver Tabla 49), este ítem no ha tenido una mejora significativa después del tratamiento.

Aquí, la respuesta correcta se consideraba cuando el estudiante era capaz de dar las proporciones adecuadas entre los astros, independientemente de que acertara o no el orden de magnitud. En la tabla hemos separado dos tipos de respuestas correctas, aquellas en las que el estudiante daba además de las

proporciones el orden de magnitud, con un 2% en el pre-test y un 1% en el post-test. O aquellas en las que el estudiante acierta las proporciones entre los objetos nombrados pero no con su orden de magnitud, del estilo de *“Como una canica, como un portería, como una pelota de fútbol”*, es decir, Júpiter 10 veces el diámetro de la Tierra y el Sol 10 veces el diámetro de Júpiter aproximadamente. Estas últimas son las únicas que han mejorado levemente, pasando de 0,0% en el pre-test a un 4,0% en el pos-test.

Estos resultados, que muestran una mejora no significativa, ponen de manifiesto la dificultad señalada en la tabla de objetivos y dificultades (Tabla 5), y sugieren una mayor insistencia de las actividades de escala en tratamientos futuros. Realizar una actividad en la que aparezcan correctamente las escalas de diámetros y distancias en el sistema solar no es fácil pero tampoco imposible. En el tratamiento sí se ha planteado una actividad de este estilo, y ello puede llevar a pensar que quizás la pregunta planteada en el cuestionario era exigente para resolverla sin datos.

Las respuestas incorrectas, pasaron de un 20,2% en el pre-test a un 34,3% en el post-test.

Los estudiantes que no contestaron la pregunta disminuyen de un 77,8% a un 60,6%, lo que indica, como en el resto de ítems, que los estudiantes han tratado de contestar más en el post-test que en el pre-test, aunque no hayan tenido éxito.

➤ **Ítem 9: Cita tecnologías que han contribuido al desarrollo de la astronomía.**

En la Tabla 58 se resumen los resultados obtenidos al analizar las respuestas al ítem 9.

Categoría	Puntos	PRE	POST
-----------	--------	-----	------

Cita dos tecnologías	2	31,3%	49,5%
Cita una tecnología	1	51,5%	39,4%
Respuestas incorrectas	0	6,1%	4,0%
No contesta	0	11,1%	7,1%

Tabla 58. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 9 en pre-test y post-test

En este ítem se consideraban respuestas totalmente correctas a aquellas que incluían al menos dos categorías. En esta categoría el porcentaje de estudiantes ha aumentado del 31,3% en el pre-test al 49,5% en el post-test.

Se consideraban también respuestas parcialmente correctas aquellas que solo citaban una tecnología. Estas, han disminuido en número, habiendo un 51,5% de los estudiantes en el pre-test y un 39,4% en el post-test.

Este ítem obtiene el mayor número de respuestas correctas (ver Figura 30), tanto en pre-test como en post-test. Esto es debido a que existe un desarrollo tecnológico fuertemente ligado a la astronomía, el telescopio. Si se atiende a las distintas categorías de las repuestas correctas, el telescopio es reconocido por un 79,8% de los estudiantes en el pre-test y por un 85,9% en el post-test; los satélites aumentan también ligeramente de un 34,3% en el pre-test a un 39,4% en el post-test; y por último, aparecen otros instrumentos que en el pre-test no figuraban (0%), nombrados por un 16,2% de los estudiantes, como el gnomon, el reloj de sol, el astrolabio o el espectroscopio. Señalar que estas categorías no son disjuntas, puesto que los estudiantes podían referirse a varias de ellas, y los porcentajes no suman la unidad.

En la categoría de respuestas incorrectas de ha producido un ligero descenso, pasando de 6,1% a 4,0%.

Además de ser la pregunta con mayor número de respuestas correctas también es la pregunta que menos estudiantes han dejado por contestar, pasando de un 11,1% en el pre-test a un 7,1% en el post-test.

➤ **Ítem 10: Explica con tus propias palabras la expansión del universo.**

En la Tabla 59 se resumen los resultados obtenidos para el ítem 10.

Categoría	Puntos	PRE	POST
Expansión a raíz de Big Bang	2	6,1%	39,4%
Respuestas incorrectas	0	32,3%	45,5%
No contesta	0	62%	15,2%

Tabla 59. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 10 en pre-test y post-test

Un 6,1% de los estudiantes contestan correctamente en el pre-test, aumentando este porcentaje hasta un 39,4% en el post-test. Todos estos estudiantes en el post-test, han sido capaces de señalar de una forma u otra que el la explosión inicial, conocida como Big Bang, es la que causa de la expansión del universo. Alguno de ellos, va un poco más allá y nombra como el tiempo y el espacio se crean en el momento de la explosión, con lo que las preguntas que había antes y dónde se produce, dejan de tener sentido.

Los estudiantes con respuestas incorrectas han pasado de un 32,3% en el pre-test a un 45,5% en el post-test.

El porcentaje de estudiantes que no contestaron la pregunta, disminuyó sensiblemente, pasando de un 62% en el pre-test a un 15,2 en el post-test. Esta disminución de casi el 50% en el abandono de la pregunta, es significativa, e indica que el estudiante acaba el tema con la idea de que es capaz de contestar la

pregunta, aunque parte de ellos lo hagan mal como se ha visto en el aumento de respuestas incorrectas.

➤ **Ítem 11. ¿Qué pruebas hay de la expansión del universo?**

La Tabla 60 muestra los porcentajes de estudiantes en las distintas respuestas al ítem 11.

Categoría	Puntos	PRE	POST
Cita tres pruebas de la expansión	2	0,0%	4,0%
Cita dos pruebas de la expansión	2	0,0%	5,1%
Cita una prueba de la expansión	1	2,0%	26,3%
Respuestas incorrectas	0	16,2%	39,4%
No contesta	0	81,8%	25,3%

Tabla 60. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 11 en pre-test y post-test

En respuesta a este ítem se esperaban las tres pruebas más comunes a la teoría del Big Bang, tal y como se señala en los criterios de valoración del cuestionario. En el pre-test, tan solo el 2,0% de los estudiantes ha sido capaz de citar una de las pruebas del Big-Bang, y ninguno ha conseguido citar dos o tres de ellas. En el post-test, estos porcentajes aumentan a un 26,3% para los capaces de citar una prueba de la expansión, un 5,1% para los que citan dos pruebas y un 4% los que citan tres pruebas. La prueba que más estudiantes han nombrado en sus respuestas, un 33,3%, ha sido la del alejamiento de las galaxias, seguida de la radiación de fondo con un 10,1% de los estudiantes y la abundancia de elementos ligeros con un 5,1% (señalar de nuevo que estas categorías no son disjuntas puesto que existen respuestas con más de una prueba). Esta mejora después del

tratamiento se debe a la necesidad de probar todos los enunciados, en la que se ha venido insistiendo a lo largo de todo el tema, no solo como parte del método científico sino también a la hora de fomentar el espíritu crítico. La prueba más fácil de recordar por los estudiantes, como se dijo más arriba, es la que hace referencia al alejamiento de las galaxias. Esto es debido de nuevo a la aproximación histórica realizada, en la que la teoría del átomo primordial de Lemaître se refuerza por primera vez con este alejamiento de las galaxias. Además es la más fácil de entender por parte de los estudiantes, que mediante los tres ejemplos del globo (con puntos, con pegatinas y con una onda), comprenden la expansión del espacio pero no de la materia, y el desplazamiento al rojo debido a esta expansión.

Las respuestas incorrectas han pasado de tener un porcentaje de estudiantes de un 16,2% en el pre-test a un 39,4% en el post-test.

El número de estudiantes que no contesta la pregunta ha disminuido notablemente, pasando de un 81.8% en el pre-test a un 25.3% en el post-test. Este ítem ha experimentado la mayor disminución en el porcentaje de estudiantes que dejaron la pregunta por contestar, síntoma que sin duda se debe a un acercamiento a la teoría del Big Bang, antes posiblemente conocida solo en nombre.

➤ **Ítem 12. Comenta la frase: “La astronomía y la astrología son ciencias distintas”**

La Tabla 61 resume los resultados obtenidos para el ítem 12.

Categoría	Puntos	PRE	POST
Diferencia y señala que la astrología no es una ciencia	2	7,1%	33,3%
Diferencia pero no señala que la astrología no es	1	9,1%	12,1%

una ciencia			
Respuestas incorrectas	0	36,4%	31,3%
No contesta	0	47,5%	23,2%

Tabla 61. Porcentaje de estudiantes que contestan al ítem 12 en pre-test y post-test

En este ítem, una respuesta se considera totalmente correcta cuando el estudiante, además de señalar que astronomía y astrología son distintas, insiste en el hecho de que una es una ciencia y la otra no. Algunas de estas respuestas señalan a la astrología como “*creencia*”, “*pseudociencia*” o “*ilusión*”. Mientras que solo un 7,1% de los estudiantes contestaron de esta forma en el pre-test, en el post-test lo realizaron un 33,3%. El tratamiento propuesto, trata de eliminar la inercia astrológica que los estudiantes arrastran, en parte por culpa de los medios de comunicación, y fomentar el espíritu crítico. Lo consigue planteando dos actividades que sorprenden al estudiante por su final inesperado (en una de ellas al darse cuenta de que afirmaciones suficientemente ambiguas son válidas para cualquier persona, en otra mostrando como la probabilidad de acierto de los horóscopos es mínima si se comprueba a posteriori).

Existe otro tipo de respuesta en la que el estudiante ha diferenciado ambas disciplinas pero no ha sido capaz de señalar el carácter acientífico de estas, considerándose respuestas parcialmente correctas. En el pre-test un 9,1% de los estudiantes realizaron este tipo de respuesta, aumentando a un 12,1% en el post-test.

Las respuestas incorrectas disminuyeron de un 36,4% de los estudiantes en el pre-test a un 31,3% en el post-test.

Los estudiantes que no contestaron la pregunta pasaron de un 47,5% en el pre-test a un 23,2% en el post-test.

6.4.2 Porcentajes en la categoría *no contesta*

Como comentario final a este apartado, mostrar la Figura 32 en la que se muestran los porcentajes de estudiantes que dejaron cada uno de los ítems por contestar.

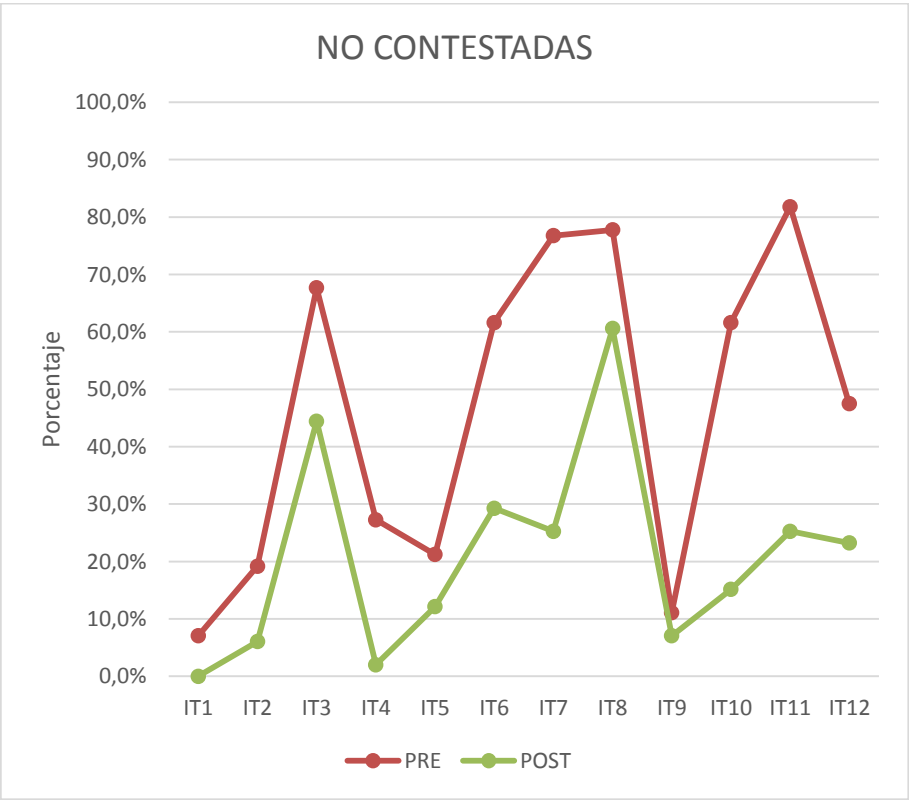


Figura 32. Porcentaje de estudiantes que dejaron los ítems por contestar

Esta gráfica mide de alguna forma la confianza que tiene el estudiante al enfrentarse a cada uno de los ítems. Se observa, como ya se comentó individualmente para cada ítem, que la mayoría de ítems siguen un camino en la línea de porcentajes muy similar. Existen sin embargo otros ítems en los que la diferencia entre los porcentajes de pre-test y post-test es notablemente mayor,

como en los ítems 7, 10 y 11 (correspondientes a la observación de la Vía Láctea, la descripción de la expansión, y las pruebas del Big Bang, respectivamente). En estos casos el estudiante parece tener conciencia de su mejora y trata de contestar cuestiones que antes no reconocía como alcanzables.

También puede observarse como el número de respuestas en blanco en el post-test es mínimo en los ítems 1 y 4 (orientación de día-noche y determinación astronómica de las estaciones respectivamente), que nos dice como todos los estudiantes confían en que han ganado conocimiento en dos aplicaciones básicas de la astronomía como son la orientación y el calendario.

6.5 Influencia de la modalidad del estudiante en el post-test.

Para realizar el análisis estadístico de la dependencia de los resultados con la modalidad escogida por el estudiante, se pensó en utilizar una prueba ANOVA 2x2 mixta en la que las variables independientes categóricas serían, por una parte la modalidad escogida y por otra la aplicación de un cuestionario antes y después del tratamiento. La variable continua dependiente sería la puntuación obtenida en el cuestionario. Esta prueba debe cumplir la igualdad de las varianzas de los grupos. Con el fin de comparar las varianzas se realiza el test de Levene. Los resultados obtenidos por el SPSS muestran que la significación obtenida en el “Contraste de Levene sobre la igualdad de varianzas error” es, en ambos casos, menor que 0,05 (0,02 para pre y 0,001 para post en Anexo II) y, por tanto, no se cumple la igualdad de varianzas. De esta forma no puede realizarse la prueba ANOVA y se ha optado por otro tipo de análisis estadístico.

El análisis escogido consiste en comparar las medias globales de diferentes subgrupos mediante el estadístico correspondiente (t de Student si siguen una

distribución normal o U de Mann-Whitney si no lo hacen). Los subgrupos con los que se han comparado las medias han sido:

- Pre-test de Humanidades-Ciencias sociales Vs. Científico-Tecnológico
- Pre-test Vs. Post-test de Científico-Tecnológico
- Pre-test Vs. Post-test de Humanidades-Ciencias sociales
- Post-test de Humanidades-Ciencias sociales Vs. Científico-Tecnológico

El subgrupo de estudiantes que ha cursado la modalidad de científico-tecnológico en el bachillerato tiene un tamaño de $N=40$, es decir, un 40.4 % de la muestra, ligeramente inferior al 47 % de estudiantes en el bachillerato científico que se han encontrado en estudios recientes (Solbes J. , 2011). El subgrupo de estudiantes que realizaron la modalidad de humanidades-ciencias sociales en el bachillerato tiene un tamaño de $N=59$, es decir un 59,6% de la muestra.

6.5.1 Comparación de las medias de los resultados globales en pre-test de los subgrupos de alumnos de humanidades y alumnos de ciencias. U de Mann-Whitney.

Dado que ambas muestras no siguen una ley normal de forma simultánea, para comparar las medias globales se sigue la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney (Anexo II). Para esta prueba, el valor de la significación asintótica es “Sig. asintót.”=0,298, mayor que 0,05 y por tanto se puede afirmar que las medias no son estadísticamente diferentes, y así, tampoco lo son los grupos pre-test de la modalidad científico-tecnológica y humanidades-ciencias sociales.

La primera conclusión que se extrae al analizar estos datos (medias de 3,2 en ciencias y 2,7 en humanidades, con desviaciones típicas de 2,9 y 1,6 respectivamente) es que la media, aunque es ligeramente superior en los alumnos

de ciencias, no lo es lo suficiente como para que las diferencias sean significativas, es decir, los estudiantes de ambas modalidades empiezan con conocimientos similares sobre astronomía. La segunda que puede extraerse es que la formación astronómica recibida por los alumnos ha tenido poco calado. Los alumnos de la modalidad de humanidades-ciencias sociales no reciben contenidos astronómicos desde 1º ESO (ver Tabla 1), es decir hace 4 años, y pueden entenderse estos resultados. Pero lo sorprendente es que los alumnos de la modalidad científico-tecnológica, se supone han cursado el bloque de fuerzas y movimientos en la física y química de 4º ESO (Ver Tabla 2), es decir hace 1 año, en el que se tratan muchos de los desarrollos históricos y conceptos de nuestra propuesta usada en el tratamiento. Esta falta de conocimiento de la astronomía por parte del alumnado científico-tecnológico, puede estar causada por un tratamiento que se quede en la capa más superficial y meramente informativa y cuantitativa que lo aparta de un tratamiento más “problematizable”, histórico y observacional, como el que aquí proponemos.

6.5.2 Comparación de las medias globales entre pre-test y post-test de los alumnos de la modalidad científico-tecnológica. T de Student

En este caso, ambas muestras siguen una distribución normal (Anexo II), por tanto para comparar el valor de las medias globales obtenidas en el pre-test y en el post-test, se aplica la prueba t de Student (Anexo II)

Al realizar la prueba, la significación asintótica es “Sig.”=0.002, y por tanto menor que 0,05, puede afirmarse que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias globales de los grupos pre-test y post-test de la modalidad científico-tecnológica. Esto nos indica que el tratamiento ha producido mejoras significativas en la puntuación total de los estudiantes de ciencias. Las

medias de los alumnos de ciencias en pre-test y post-test han mejorado notablemente de 3,2 a 10,8 (Anexo II).

6.5.3 Comparación de las medias globales entre pre-test y post-test de los alumnos de humanidades-ciencias sociales. Wilcoxon.

Los alumnos de humanidades siguen una distribución normal en el post pero no lo hacen en el pre, así, se aplicará la alternativa no paramétrica a la t de Student, la prueba de Wilcoxon. Al realizar la prueba (Anexo II) la significación asintótica es “Sig. asintót.”=0,000, menor que 0,05, y por tanto puede afirmarse que existen diferencias significativas estadísticamente entre las medias globales del subgrupo de humanidades-ciencias sociales en pre-test y post-test. Esto indica que se ha producido una mejora significativa estadísticamente al aplicar el tratamiento. Las medias del grupo de humanidades en pre-test y en post-test, han aumentado de 2,5 a 5,8 (Anexo II).

6.5.4 Comparación de las medias de los resultados globales en el post-test de los subgrupos de alumnos de humanidades y alumnos de ciencias. T de Student.

Recapitulando lo sucedido en apartados anteriores, se tiene que:

- ✓ Ambas modalidades empiezan con conocimientos similares.
- ✓ Los estudiantes de ambas modalidades han mejorado con el tratamiento realizado.

Queda una cuestión por resolver, y es que modalidad obtuvo mejores resultados en el post-test. Las medias calculadas anteriormente son claras al respecto, pero puede compararse los resultados de ambas modalidades en post-

test mediante una de las pruebas señaladas anteriormente, para apreciar la significatividad de las mismas.

El test de Kolmogorov-Smirnov en ambas pruebas indica que ambas siguen una distribución normal y por tanto puede aplicarse la t de Student para comparar medias (Anexo II).

La prueba de Levene indica que las varianzas no son iguales (Anexo II), y la significación asintótica al realizar la prueba T en este caso (Anexo II) es “Sig. Asintót.”=0,000, menor que 0,05 y por tanto las medias globales de los subgrupos científico-tecnológico y humanidades-ciencias sociales son estadísticamente diferentes.

La Tabla 62 muestra las medias y desviaciones típicas de ambos subgrupos, mostrando que la media de los estudiantes de la modalidad de científico-tecnológico es 10,8, mejor que la del subgrupo de humanidades-ciencias sociales de 5,8.

Estadísticos de grupo					
	OPCIÓN	N	Media	Desv. típ.	Error típ. de la media
SUMA	Ciencias	40	10,75	4,792	,758
_POST	Humanidades	59	5,83	3,201	,417

Tabla 62. Estadísticos para cada una de las modalidades

Esta diferencia puede cuantificarse utilizando el parámetro eta cuadrado, que SPSS no calcula pero que puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$\eta^2 = \frac{t^2}{t^2 + N_1 + N_2 - 2} = \frac{5.689^2}{5.689^2 + 40 + 59 - 2} = 0,25$$

Siendo t el valor de la prueba T para la igualdad de medias (prueba de muestras independientes), N_1 y N_2 los tamaños de la muestra de los subgrupos. El valor obtenido indica, de acuerdo con Cohen (Cohen, Manion, & Morrison, 2007) que las diferencias entre las medias es muy grande.

Esta gran diferencia entre las medias indica como el tratamiento ha sido más beneficioso para los estudiantes de la modalidad científico-tecnológica. Como se demostró en un apartado anterior, los estudiantes de las distintas modalidades empezaron con los mismos conocimientos astronómicos, y acabaron con mejoras, que fueron más importantes en el caso de la modalidad científico-tecnológica. Esto da cuenta de la importancia del aprendizaje anterior, independientemente de que el alumno recuerde o no temas astronómicos. Cabe suponer que los alumnos de la modalidad científico-tecnológica están en principio más entrenados en realizar observaciones, asociarlas con modelos, reconocer las relaciones CTS, reforzar las teorías con pruebas, etc., cuestiones todas ellas tratadas en el tema diseñado.

6.5.5 Porcentajes de respuestas correctas en los grupos control, pre-test y post-test para los subgrupos de ciencias y humanidades.

Las dos gráficas siguientes muestran el porcentaje de estudiantes que contestan correctamente, igual que la Figura 32 pero separando a ciencias de

humanidades.

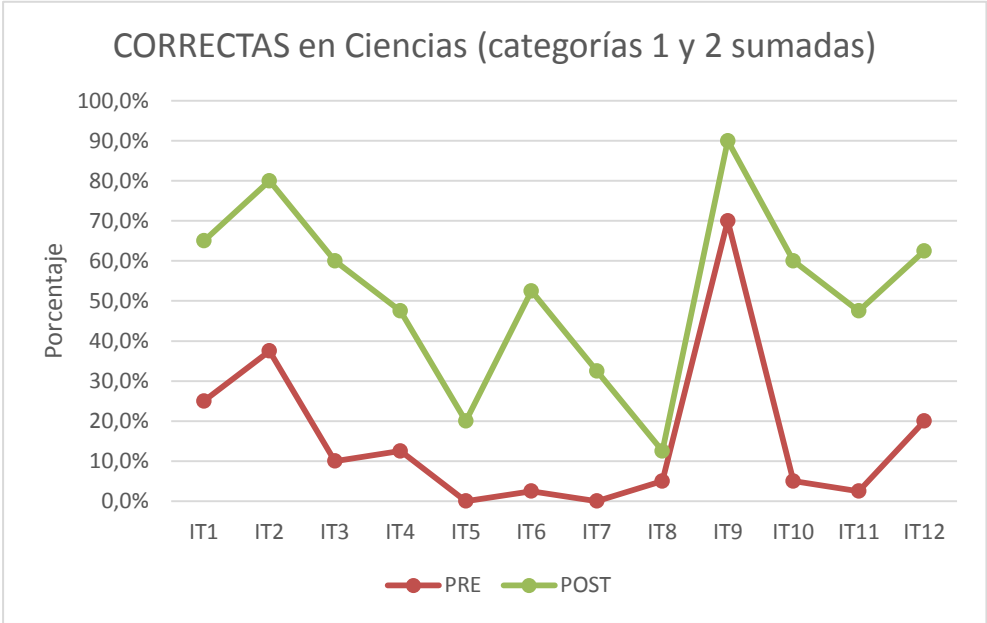


Figura 33. Gráfica que representa los porcentajes de estudiantes de ciencias que contestan correctamente cada ítem

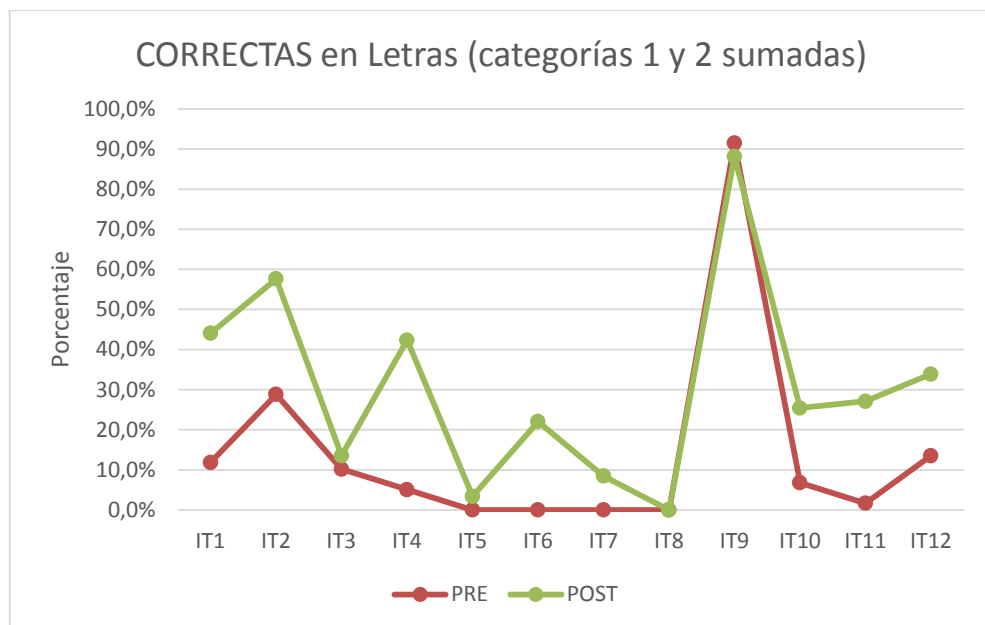


Figura 34. Gráfica que representa los porcentajes de estudiantes de ciencias que contestan correctamente cada ítem

A continuación, observando ambas gráficas al mismo tiempo, analizaremos algunos resultados distintos entre ambas muestras.

Puede verse como en los ítems 1 y 2 la evolución de ambos subgrupos discurre paralelamente, a pesar de que el subgrupo de ciencias obtiene mejores resultados, sin embargo al llegar al ítem 3 se produce una gran mejora en el subgrupo de ciencias y una muy ligera mejora en el subgrupo de humanidades. Este ítem 3 es el que busca aplicaciones de la astronomía, y esta mejora del subgrupo de ciencias puede deberse a que son ellos, los estudiantes de ciencias, los que mejor asimilan el carácter práctico de la ciencia.

En el ítem 4 se observa de nuevo que la evolución de ambos subgrupos es similar, además de serlo también sus resultados.

En el ítem 5 vuelve a suceder que el subgrupo de ciencias obtiene una significativa mejora, y el de humanidades una muy leve mejora. El ítem 6 en cambio, discurre de forma similar en ambas gráficas, aunque de nuevo es el subgrupo de ciencias el que obtiene mejores resultados. La explicación en ambos ítems parece coincidir. En estos dos ítems, el 5 que describe la causa de las estaciones y el 6 que habla de los hechos que cuestionaron el modelo geocéntrico, de nuevo parece que los estudiantes de ciencias están más entrenados en dar una explicación a partir de un modelo.

El ítem 7 experimenta mejoras en ambos subgrupos, aunque en el subgrupo de ciencias son mejores.

En el ítem 8 las gráficas muestran que todos los resultados favorables se deben al subgrupo de ciencias. Este ítem es el que trabaja las escalas en el sistema solar, siendo una actividad que a pesar de no requerir cálculos matemáticos, si requiere una valoración aproximada de órdenes de magnitud a la que los estudiantes de ciencias parecen estar más predispuestos.

Los ítems 9, 10, 11 y 12 discurren de forma similar en ambas gráficas, aunque en todos los casos, son los estudiantes de ciencias los que mejores resultados obtienen.

6.6 Comparación de los grupos control y post-test.

Finalmente, en este apartado se comparan los grupos control y post-test para ver si existen diferencias significativas entre alumnos que realizaron un tratamiento habitual y los que realizaron nuestro tratamiento experimental.

6.6.1 Comparación de las medias de los resultados globales de los grupos control y post-test. U de Mann-Whitney.

Para comprobar si el grupo control sigue una distribución normal, puede realizarse la prueba de Kolmogorov-Smirnov con los 113 estudiantes que formaban el grupo control descrito en el apartado 4.3.

La variable suma de respuestas sigue una distribución normal tanto en el grupo control (Anexo II) como en el post-test (Anexo II). Así, puede aplicarse una prueba no paramétrica como la U de Mann-Whitney (Anexo II) en la que se obtiene una significación asintótica, “Sig. asintót.”=0.000, que indica, puesto que es mayor que 0,05 que puede rechazarse la hipótesis nula, asumiendo así que las medias de las muestras son estadísticamente diferentes, y por tanto también los son los grupos control y post-test.

La media del grupo control es 3,7 y la del grupo post-test 7, (Anexo II) y por tanto los resultados del grupo post-test son mejores. Esto corrobora nuestra hipótesis sobre la posibilidad de realizar un tratamiento que supere las dificultades de los alumnos.

6.6.2 Comparación de los resultados de cada ítem de los grupos control y post-test. Chi-Cuadrado.

La comparación de los resultados de los grupos control y post-test en cada uno de los ítems se realiza calculando el estadístico “Chi-cuadrado de Pearson”, puesto que las dos muestras no están relacionadas, tal y como muestra la Tabla 63.

ÍTEM	Sig.	Diferencia
------	------	------------

	asintótica (bilateral)	estadísticamente significativa ($\alpha = 0,05$)
Ítem 1: Explica cómo te orientarías de noche y de día.	0.000	SÍ
Ítem 2: Comenta la frase: "El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste"	0.000	SÍ
Ítem 3: Señala aplicaciones que conozcas sobre la astronomía e indica en que observaciones se basan.	0.113	NO
Ítem 4: ¿Cómo podemos explicar astronómicamente las estaciones del año?	0.000	SÍ
Ítem 5: Explica las fases de la Luna	0.001	SÍ
Ítem 6: Qué hechos pusieron en cuestión el modelo geocéntrico.	0.001	SÍ
Ítem 7. Explica como la observación de la Vía Láctea demuestra que estamos en una galaxia.	0.001	SÍ
Ítem 8. Si la distancia del Sol a Neptuno fuera como un campo de fútbol (110 m), ¿qué tamaño crees que tendría la Tierra? ¿y el Sol? ¿y Júpiter?	0.136	NO
Ítem 9: Cita tecnologías que han contribuido al desarrollo de la astronomía.	0.000	SÍ
Ítem 10: Explica con tus propias palabras la expansión del universo.	0.001	SÍ
Ítem 11. ¿Qué pruebas hay de la expansión del universo?	0.045	SÍ
Ítem 12. Comenta la frase: "La astronomía y la astrología son ciencias distintas"	0.001	SÍ

Tabla 63. Resultados obtenidos al realizar la prueba Chi-cuadrado a cada ítem de los grupos control y post-test

En la tabla se observa que en los ítems 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 y 12 obtienen que "Sig. asintótica" (de "Chi-cuadrado de Pearson" en los ítems con dos

categorías y “Con corrección de continuidad” con los de tres) es menor que 0,05, lo que indica que existe diferencia significativa en las respuestas de cada categoría de los ítems entre el grupo control y el grupo post-test. En los ítems 3 y 8 la diferencia no es significativa.

6.7 Resultados obtenidos mediante entrevistas

De igual forma a como se hizo en el apartado 4.3.2, se completan los resultados cuantitativos obtenidos con algunas entrevistas con el fin de aclarar algunas respuestas o indagar más profundamente algunos ítems. Vuelven a utilizarse nombres ficticios que lo único que conservan es el género del alumnado. El profesor hace referencia al propio investigador del trabajo.

➤ **Ítem 3: Señala aplicaciones que conozcas sobre la astronomía e indica en que observaciones se basan.**

Al preguntar por las observaciones a un alumno que no fue capaz de nombrarlas en su momento, y dio por tanto una respuesta parcialmente correcta, contesta como sigue, mostrando que las preguntas del profesor favorecen que el alumno recuerde incluso más cosas de las que contestó.

- *Profesor: ¿En qué observaciones se basan las aplicaciones que has contestado? ¿Qué observamos para podernos orientar?*
- *Alumno 1: Como se nombra anteriormente, la polar o la salida del sol*
- *Profesor: ¿Y para cultivar?*
- *Alumno 1: Observando cada día haciendo un calendario*

Esto muestra como el estudiante conocía la respuesta pero no ha sido capaz de ofrecerla en el post-test. Incluso otro alumno que citó como aplicaciones “evitar y prevenir la caída de meteoritos sobre la Tierra”, es capaz de dar una nueva respuesta cuando se le pregunta:

- *Profesor: ¿Se te ocurre alguna otra aplicación directa de la astronomía?*
- *Alumna 2: Las mareas que provoca la Luna*

➤ **Ítem 6: Qué hechos pusieron en cuestión el modelo geocéntrico.**

Cuando el alumno es entrevistado y preguntado por su respuesta al ítem (manchas lunares, solares, satélites de Júpiter), sale al paso completando la explicación inicial, lo que indica un buen nivel de comprensión y no un conocimiento meramente memorístico:

- *Alumno 3: Geocéntrico muy religioso, mundo sublunar y por encima de la luna esferas perfectas. El descubrimiento de manchas en el Sol y en la luna demostraba que el modelo geocéntrico no estaba basado en nada real. Los satélites de júpiter demostraban que no todo giraba alrededor de la Tierra, había astros que giraban alrededor de otros astros.*

➤ **Ítem 7: Explica como la observación de la Vía Láctea demuestra que estamos en una galaxia.**

La cuestión parece claramente comprendida por los alumnos entrevistados, quienes completan su respuesta de manera más o menos concisa:

- *Alumno 1: Cuanto más al centro, más estrellas concentradas. Al mirar la franja lechosa, estamos dirigiendo la mirada hacia el centro*
- *Alumno 3: Podemos saber que estamos dentro de una galaxia porque vemos un gran cúmulo de estrellas. Podemos verlo desde ciertos puntos de la tierra, no desde todos. Al ver cúmulos de estrellas, al haber más estrellas en un punto, podemos tender a pensar que estamos viendo algo de lo que*

formamos parte. Todo lo demás tiene un número relativamente bajo de estrellas poco luminosas, muy esparcidas. Llegamos a ese punto y vemos un montón de estrellas. Podemos llegar a pensar que todo ese cumulo de estrellas forma parte de algo más grande.

➤ **Ítem 8: Si la distancia del Sol a Neptuno fuera como un campo de fútbol (110 m), ¿qué tamaño crees que tendría la Tierra? ¿y el Sol? ¿y Júpiter?**

Al entrevistar a un alumno que no supo contestar el ítem, dejando la respuesta en blanco se obtiene:

- *Profesor: Comenta la respuesta realizada al ítem.*
- *Alumno 1: Era un ejercicio parecido a uno realizado en clase, en el que colocábamos los planetas en un plano del colegio, en el que se veía que solo cabían Mercurio, Venus, Tierra y Marte, el resto se salían.*
- *Profesor: ¿Y qué tamaño tenían los planetas?*
- *Alumno 1: No recuerdo*
- *Profesor: ¿Ni el Sol?*
- *Alumno 1: Que yo recuerde no cabía*
- *Profesor: ¿A qué te refieres con no cabía?*
- *Alumno 1: El radio era demasiado grande*
- *¿Qué tamaño tenía el Sol? ¿Qué representamos como el Sol?*
- *Alumno 1: Un globo enorme*
- *Profesor: ¿De qué tamaño?*
- *Alumno 1: No recuerdo.*
- *Profesor: ¿Más o menos?*
- *Alumno 1: (El alumno señala con los brazos el tamaño adecuado)*
- *Profesor: ¿Y en centímetros, aproximado?*

- *Alumno 1: 40 cm*

Llama la atención que el alumno no recuerde el tamaño de los planetas, pese a que en clase se realizaron actividades con bolas a escala de poliestireno expandido pintadas. Tan solo cuando se le insiste con el Sol, recuerda que el objeto en cuestión y acierta cuando señala el tamaño (aunque no lo haga con la aproximación en centímetros). Algo similar ocurre con otros dos alumnos, que al ser preguntados por los planetas no recuerdan los tamaños, pero sí lo hacen del Sol (un globo amarillo de 80 cm). Uno de los casos citados:

- *Profesor: ¿No recuerdas la actividad de escalas?*
- *Alumna 2: Nos pusiste con bolitas*
- *Profesor: ¿No recuerdas el tamaño del Sol?*
- *Alumna 2: Grande (Señala el tamaño adecuado con los brazos)*
- *Profesor: ¿y Júpiter?*
- *Alumna 2: (Señala el tamaño pero no acierta)*

Y el otro caso:

- *Profesor: ¿Qué tamaño tendría el Sol?*
- *Alumna 4: Recuerda el tamaño del Sol*
- *Profesor: ¿y Júpiter?*
- *Alumna 4: (No recuerda el resto)*

➤ **Ítem 10: Explica con tus propias palabras la expansión del universo.**

Como ya se ha constatado en los resultados cuantitativos, es difícil encontrar respuestas que indiquen que tanto espacio como tiempo se formaron en el Big

Bang. Al ser preguntados por esta cuestión fundamental se obtienen las respuestas:

- *Profesor: ¿Eres capaz de explicarme la expansión del universo?*
- *Alumna 5: Se crea el tiempo a partir del que contar los hechos, y un espacio para que se puedan desarrollar...*
- *Alumna 4: Materia y antimateria crea energía, y de ahí nace el espacio y el tiempo. Antes no había espacio y tiempo.*
- *Profesor: ¿Qué significa esta expansión dio lugar al espacio y al tiempo?*
- *Alumno 3: En un principio no había nada. Hay varias teorías pero una de las más aceptadas es que toda la materia estaba concentrada en una esfera, en un momento dado colapso, y explosión con muchísima fuerza y se creó la materia. Si no había nada no había tiempo, se creó también y comenzó a expandirse. Hay muchas teorías, bola de materia que se expandía, multiversos. No podemos llegar antes del BB. No es que no existiera el tiempo, es que nuestro tiempo se creó en el BB.*
- *Alumno 1: Se supone que cuando ocurrió el Big Bang, antes del Big Bang no había espacio ni tiempo*
- *Profesor: ¿Si no había tiempo no había antes?*
- *Alumno 1: Claro todo se formó a raíz del Big Bang*
- *Profesor: ¿Se expande el universo dentro de algo? ¿Dónde se está expandiendo el universo?*
- *Alumno 1: En la nada, tampoco podemos justificarlo puesto que no hemos podido observarlo, aunque hay pruebas no está corroborado al 100%*

➤ **Ítem 11: ¿Que pruebas hay de la expansión del universo?**

Esta cuestión es complicada, y por ello el objetivo de la misma es entender que el Big Bang es una teoría apoyada en pruebas y no comprender profundamente cada prueba. Una prueba tiene que ver con conceptos de física nuclear, los cuáles el estudiante solo ha tenido la oportunidad de tratar en la Física y Química de 3º de la ESO, de carácter obligatorio en el que se tratan con poca profundidad. En cambio las otras dos pruebas están relacionadas con conceptos de ondas que se introducen Física Y Química de 4º de la ESO que los alumnos de Humanidades y Ciencias sociales no han cursado y algunos de Ciencias no llegan, porque se trata del último tema del programa.

Por ello, a pesar de que existen alumnos que nombran alguna de las pruebas, al ser preguntados por ellas no son capaces de explicarlas con claridad. Esto no indica que la respuesta sea incorrecta, puesto que lo que se buscaba, como ya hemos señalado, era comprender que la teoría Big Bang está apoyada en pruebas. Las respuestas son desiguales en este sentido:

- *Alumna 2: Se produce un corrimiento al rojo de la luz de los planetas.*
- *Profesor: Entendías que había un corrimiento al rojo y uno al azul, pero ¿era de los planetas?*
- *Alumna 2: ¿Las estrellas?*
- *Profesor: No, las galaxias... ¿Qué nos dice que exista un corrimiento al rojo? ¿Qué significa?*
- *Alumna 2: Que están más lejos*

- *Profesor: ¿Qué es la radiación cósmica de fondo?*
- *Alumno 3: Científicos observaron radiación cósmica de fondo que intuyeron o interpretaron que era como la onda expansiva del BB.*

- *Profesor: ¿Qué es la abundancia de núcleos ligeros?*
- *Alumno 3: No sé*
- *Profesor: Hay una última prueba...*
- *Alumno 3: Las galaxias varían su luz del rojo al azul, por efecto Doppler. Observamos galaxias que se acercan y se alejan.*

- *Profesor: ¿Eres capaz de explicarme alguna de las pruebas?*
- *Alumna 4: Era lo de las ondas del sonido, en rojo depende de la amplitud. Similar a lo de las ambulancias.*
- *Profesor: ¿En rojo y azul que es lo que observamos?*
- *Alumna 4: La luz*
- *Profesor: ¿De dónde proviene esa luz?*
- *Alumna 4: Del Sol*

➤ **Ítem 12: Comenta la frase: “La astronomía y la astrología son ciencias distintas”**

Después de realizar el tratamiento, las entrevistas muestran que el alumno ha interiorizado a la astrología como una disciplina alejada de la ciencia, con respuestas como:

- *Profesor: Al principio no sabías la diferencia entre astronomía y astrología...*
- *Alumna 2: Luego me quedó claro, porque es lógico*
- *Alumno 1: En ocasiones se confunde la astronomía con la astrología*
- *Profesor: ¿Por qué confundimos astronomía con astrología?*
- *Alumno 1: Porque se hace un mal uso de la palabra*

- *Alumno 3: (Las cartas astrales y horóscopos) son comentarios muy vagos que pueden servir para cualquier persona.*

7 RECAPITULACIÓN, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Desde la investigación didáctica se viene señalando el creciente desinterés por la ciencia del alumnado de todos los niveles. En este trabajo se plantea la enseñanza de la astronomía como una estrategia más en el camino de enseñar ciencia a este alumnado desmotivado. La oportunidad la brinda, de momento, la asignatura Ciencias para el Mundo Contemporáneo, impartida en 1º de bachillerato.

El trabajo comienza planteando algunos problemas de la enseñanza de la astronomía en este nivel:

- ✓ ¿Qué dificultades tienen los alumnos de bachillerato al estudiar el tema de astronomía?
- ✓ ¿Cuáles son las deficiencias de la actual forma de enseñar astronomía?
- ✓ ¿Es posible diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de la astronomía en bachillerato que supere las dificultades de aprendizaje del alumnado?

Como posible solución al problema planteado se sugieren las siguientes hipótesis:

- ✓ La primera hipótesis es que los alumnos no comprenden los enunciados básicos de la astronomía porque la enseñanza de la misma se realiza de una forma muy teórica, sin poner de manifiesto como la astronomía ha llegado a demostrar estas proposiciones, y sin tener en cuenta que implican dimensiones y tiempos que superan con mucho la escala humana.

- ✓ Nuestra segunda hipótesis es que es posible superar estas dificultades del alumnado mediante una propuesta para el tema de astronomía de bachillerato que aproveche la historia de la ciencia para favorecer una mayor comprensión de cómo se resolvieron los problemas planteados.

Ambas hipótesis se fundamentan desde el punto de vista histórico, señalando los obstáculos históricos en el desarrollo de la astronomía, y de la didáctica de las ciencias, mostrando las dificultades de aprendizaje de los estudiantes, lo que nos permite elaborar una tabla de objetivos y dificultades en el proceso de enseñanza aprendizaje. Esta fundamentación didáctica también contiene las bases que servirán para diseñar la propuesta señalada en la primera hipótesis.

Con el objetivo de comprobar la primera hipótesis, se realiza una valoración mediante red de análisis a 14 de los textos más usados, un cuestionario a 27 profesores en activo y un cuestionario a 113 alumnos que han recibido enseñanza de la astronomía en bachillerato.

El análisis de los textos pone de manifiesto que la enseñanza de la astronomía no contribuye a mejorar el aprendizaje, porque no tiene en cuenta las dificultades de los y las estudiantes. En concreto, dicha enseñanza se realiza de una forma muy teórica y verbalista, sin mostrar las observaciones que han permitido comprobar los enunciados astronómicos, y también sin tener en cuenta la escasa comprensión que tienen los estudiantes de aspectos astronómicos básicos del sistema Sol-Tierra-Luna, insistentemente estudiados en primaria. Tampoco se trabajan suficientemente las dimensiones y tiempos astronómicos, muy dificultosos para el alumnado porque superan con mucho la escala humana, ni cuestiones que permitan desarrollar competencias críticas. Y aunque si aparecen

las relaciones de la astronomía con la tecnología no se mencionan apenas las aplicaciones básicas de la astronomía necesarias para la supervivencia de la especie en el pasado.

Al preguntar a los profesores sobre el contenido astronómico en bachillerato, la respuesta mayoritaria está dirigida a tratar la imagen actual del universo, quedando las respuestas encaminadas a tratar las aplicaciones de la astronomía como minoritarias. Esto último parece entrar en contradicción con la respuesta a la pregunta ¿por qué es importante enseñar astronomía a toda la población?, en la que los docentes ofrecen respuestas afirmativas basadas en las relaciones de la astronomía con la tecnología y la sociedad. Así, los docentes son conscientes de la importancia de las aplicaciones, pero los manuales no están preparados para satisfacer este aspecto de la enseñanza.

Los resultados obtenidos confirman nuestra hipótesis de que la mayoría de los y las estudiantes no comprenden y/o desconocen aspectos básicos de la astronomía, pese a la reiterada enseñanza de la misma. Así, solo un 6,2% del alumnado sería capaz de orientarse de día y de noche, un 12,4% explica las estaciones a partir de la inclinación del eje y ninguno es capaz de explicar las fases de la Luna. Solo un 28,3% cuestionan un enunciado basado en el modelo geocéntrico y un escaso 3,6% conocen un hecho que lo puso en cuestión, es decir, no comprenden el papel de los modelos en la ciencia. Solo un 5,4% conocen una aplicación de la astronomía y la observación en que se basa y un 27,1% ha sido capaz de citar dos tecnologías que hayan contribuido al desarrollo de la astronomía.

Evidentemente, si no comprenden aspectos más básicos, relacionados muchos de ellos con el sistema Sol, Tierra, Luna, difícilmente comprenderán otros

más avanzados. Así, solo un 1,8% de los estudiantes acierta con el orden de magnitud de los radios de la Tierra, Júpiter y el Sol a una escala dada y apenas un 4,4% comprende que la Vía Láctea observada en el firmamento nocturno corresponde a una mayor agrupación de estrellas en el plano de la Vía Láctea. Aunque un 19,5% nombra el Big Bang como origen de la expansión del universo, se trata de un conocimiento meramente verbal ya que ninguno menciona que es el espacio el que se expande, no el universo el que se expande en un espacio preexistente y solo un 0,9% conoce 2 pruebas de la expansión. Y, lo que nos parece más grave, tan solo un 12,4% diferencia entre astrología y astronomía y es consciente de que la primera no es una ciencia, lo que evidencia un escaso nivel de pensamiento crítico.

Los resultados de los diseños experimentales llevados a cabo sugieren que quizás pueda mejorarse el tratamiento que actualmente recibe la astronomía. Así, como se comenta más arriba, nos planteamos si podría diseñarse una propuesta que resuelva las dificultades que tienen los estudiantes al respecto. Creemos que sí y nuestra segunda hipótesis va encaminada a resolver esta situación. Así, hemos diseñado un programa de actividades en el que se han tenido en cuenta las dificultades de la enseñanza de las ciencias, y en particular de la astronomía, con el que conseguir los objetivos planteados en la fundamentación didáctica.

Este programa se ha puesto en funcionamiento con un total de 99 estudiantes con el objetivo de comparar el conocimiento astronómico antes (pre-test) y después del tratamiento (post-test). Esta información se ha obtenido primeramente de forma cuantitativa, con el mismo cuestionario utilizado con el grupo que recibió otro tipo de enseñanza de la astronomía (grupo control), y luego de forma cualitativa mediante entrevistas a algunos estudiantes. Posteriormente se

ha tratado estadísticamente para dilucidar si el tratamiento diseñado ha mejorado el conocimiento astronómico del alumnado.

La media obtenida para las puntuaciones en el pre-test es 2,6 y en el post-test 7,8. Con estos valores, la primera prueba estadística realizada, la comparación de medias globales entre pre-test y post-test, ofrece resultado positivo, indicando una mejora estadísticamente significativa entre ambos grupos. Si se atiende a los resultados de cada uno de los ítems del cuestionario, se obtiene también una mejora estadísticamente significativa para casi la totalidad de ellos. Solo uno de los ítems no ha obtenido buenos resultados, el ítem 8 encargado de valorar la capacidad de colocar a escala el sistema solar. La explicación es, como siempre, multicausal. Por una parte, la dificultad para el ser humano de asimilar escalas varios órdenes de magnitud por encima de la propia, señalada también como respuesta mayoritaria por los docentes preguntados. Por otra la propia redacción de la pregunta, que sin dato alguno lanza al estudiante a una estimación cuantitativa, al menos en órdenes de magnitud, a la que no está acostumbrado como se comprobó en alguna de las entrevistas.

Los resultados obtenidos confirman nuestra segunda hipótesis, puesto que el alumnado ha experimentado una notable mejora en su conocimiento astronómico. Si se toman en cuenta todas las respuestas correctas, se observa como el alumnado ha mejorado los porcentajes en todos los ítems, salvo en el 8. Cuestiones que exploraban aspectos básicos de la astronomía, como la orientación de día y de noche, han pasado de tener un 17,2% de respuestas correctas o parcialmente correctas a tener un 52,5%; o la explicación de las estaciones que ha aumentado de un 8,1% a un 44,4%; incluso la explicación de las fases de la Luna, que igual que en el grupo control, no obtiene ninguna respuesta en el pre-test y

aumenta a un 10,1% de respuestas correctas en el post-test. Las tecnologías ligadas a la astronomía también son fuertemente reconocidas por el alumnado, siendo un 82,8% los que reconocen alguna tecnología en el pre-test y un 88,9% en el post-test. Estos porcentajes elevados son debidos al reconocimiento del telescopio como pieza clave en el desarrollo astronómico, pero además en el post-test, un 16,2% de los alumnos ha sido capaz de nombrar otros instrumentos que no aparecían en el pre-test, como el gnomon y el astrolabio.

El alumnado también ha mejorado en la forma de entender los modelos en ciencia, dado que el número de los que de alguna manera reconocen un enunciado geocéntrico aumenta de 32,3% en el pre-test a un 66,7% en el post-test, y además, los que son capaces de nombrar algún hecho que pusiera en cuestión el modelo geocéntrico pasan de ser un 1% en el pre-test a un 34,4% en el post-test.

La cuestión que indaga sobre la confirmación de que vivimos en una galaxia gracias a la observación de la Vía Láctea en el cielo, no obtiene ninguna respuesta correcta en el pre-test, y consigue un 18,2% en el post-test. Vale la pena destacar, que el número de estudiantes que no contesta esta cuestión ha disminuido sensiblemente, lo que indica ganancia en la seguridad de sus conocimientos al respecto. El ítem que explora la comprensión de las escalas en juego es, como ya se ha comentado, el que peores resultados ha obtenido, pero aun así ha experimentado aumento al pasar de ninguna respuesta correcta en el pre-test a un 4% en el post-test.

La mejora continúa en las cuestiones que exploran el modelo cosmológico actual, ya que aumenta el porcentaje de alumnado que explica la expansión del universo a raíz del Big Bang pasando de un 6,1% en el pre-test a un 39,4% en el post-test. Prácticamente igual es la mejora en el porcentaje de respuestas

correctas totales al considerar las pruebas del Big-Bang, pasando de un 2% en el pre-test a un 35,4% en el post-test. De nuevo, estas son dos cuestiones en las que ha disminuido de forma notable el porcentaje de respuestas en blanco, indicando así la confianza del alumnado en esta cuestión. Estas dos cuestiones refuerzan la necesidad de probar los enunciados científicos, y contribuyen a la formación del pensamiento crítico del estudiante. Es precisamente esta forma de pensar la que consigue que el estudiante rechace la astrología como una ciencia, como refleja el aumento en el porcentaje del alumnado que realiza esta distinción, pasando de un 7,1% en el pre-test a un 33,3% en el post-test.

Una vez constatadas las mejoras obtenidas por el alumnado con el diseño realizado se procede a explorar que ha sucedido con los alumnos según la modalidad de bachillerato escogida. Con una primera prueba estadística para comparar las medias de las distintas modalidades en el pre-test, se obtienen valores de la media que no son estadísticamente diferentes, lo que indica que los estudiantes de ambas modalidades comienzan el tema con conocimientos astronómicos similares. Este resultado llama la atención, puesto que los estudiantes de la modalidad de ciencias, cursaron la Física y Química de 4º de la ESO, que recordemos, contiene contenidos de astronomía (Tabla 2). Posteriormente se comparan las medias entre pre-test y post-test, de los alumnos de ambos bachilleratos. Las medias de los alumnos de ciencias en pre-test y post-test han mejorado notablemente de 3,1 a 10,7, y las de los alumnos de humanidades también, de forma más moderada 2,5 a 5,8. Así, finalmente se observa que pese a partir de conocimientos similares, los estudiantes de la modalidad de ciencias han obtenido una mejora mayor que los de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. Se constata así la importancia del aprendizaje anterior con independencia de que el alumno recuerde o no los conceptos

astronómicos, estando los alumnos de ciencias en principio más entrenados en realizar observaciones, asociarlas con modelos, reconocer las relaciones CTS, reforzar las teorías con pruebas, etc., cuestiones todas ellas tratadas en el tema diseñado.

Aunque el grupo control es diferente del pre-test/post-test, tiene la ventaja respecto al grupo pretest de que se le han impartido contenidos de astronomía con los libros de texto caracterizados en esta investigación. Si comparamos los resultados de las medias de los grupos control y post-test, encontramos que es notablemente superior la de los alumnos tratados con nuestra propuesta didáctica, 3,7 y 7,8 respectivamente; y realizando una comparación ítem a ítem, en la que se observa que todos los ítems obtienen mejoras estadísticamente significativas excepto en los ítem 3 y 8.

Aunque la LOMCE al suprimir la asignatura de Ciencias para el Mundo Contemporáneo trunca bastante las futuras perspectivas de este trabajo, hay que esperar a ver en qué partes del curriculum se van a introducir contenidos astronómicos, para intentar aprovechar en las mismas los materiales realizados. Sería conveniente detectar el motivo por el cuál, tanto estudiantes de la modalidad de ciencias como de la de humanidades y ciencias sociales, llegan al bachillerato con conocimientos similares de astronomía, habiendo recibido los primeros algo más de instrucción sobre el tema.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, J., Vázquez, A., & Manassero, M. (2003). Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 2(2).
- Acevedo, P., & Acevedo, J. (2002). Proyectos y materiales curriculares para la educación CTS: enfoques, estructuras, contenidos, y ejemplos. *Bordón*, 54(1), 5-18.
- Arribas, A. (2001). *Astronomía paso a paso*. Madrid: Equipo Sirius.
- Atwood, R., & Atwood, V. (1997). Effects of instruction on preservice elementary teacher's conceptions of the causes of night and day and the seasons. *Journal of Science Teacher education*, 8(1), 1-13.
- Bain, K. (2006). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Valencia: Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Bella, T., Casasu, E., Cebrián, J., Domenech, M., & Domenech, A. (1989b). *Astrofísica: una propuesta curricular*. Generalitat Valenciana.
- Bella, T., Casasus, E., Cebrián, J., Domenech, M., & Domenech, A. (1989a). *Diseño curricular de Astronomía*. Generalitat Valenciana.
- Belmonte, J. (1999). *Las leyes del cielo*. Madrid: Temas de Hoy.
- Bennett, C. L., Larson, D., Weiland, J. L., Jarosik, N., Hinshaw, G., Odegard, N., Wright, E. L. (04 de Jun de 2013). Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results. *arXiv:1212.5225*.
- Bernal, J. (1976). *Historia social de la ciencia*. Barcelona: Península.
- Bode, M. (Ed.). (2008). *The Astronet Infrastructure Roadmap: A Strategic Plan for European Astronomy*. Liverpool: Astronet.

- Bowler, P., & Morus, I. (2005). *Making Modern Science*. University Of Chicago Press.
- Brecht, B. (1995). *Teatro completo 7. Vida de Galileo. Madre coraje y sus hijos*. Madrid: Alianza.
- Bryce, T. G., & Blown, E. J. (2013). Children's Concepts of the Shape and Size of the Earth, Sun and Moon. *International Journal of Science Education*, 35(3), 388-446.
- Bybee, R. (2000). Achieving Technological Literacy: A National Imperative. *The Technology Teacher*, 23-28.
- Camino, N. (1995). Ideas previas y cambio conceptual en astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la luna. *Enseñanza de la ciencias*, 13(1), 81-96.
- Camino, N. (1998). Un palimpsesto en el cielo nocturno. En E. Barret , & A. De Pro (Edits.), *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias* (págs. 91- 101).
- Camino, N. (2004). Aprender a imaginar para comenzar a comprender. *Alambique* 42, 81-89.
- Cardenete, S. (2009). El sistema solar no nos cabe en el techo. *Alambique* 61, 38-47.
- Carnicer, J., Reyes, F., & Guisasola, J. (2012). How can "Weightless" Astronauts be Weighed. *The Physics Teacher*, 50, 12-13.
- Causeret, P., Fouquet, J., & Sarrazin-Vilas, L. (2008). *El cielo al alcance de la mano*. Madrid: Libsa.
- Chomaz, P. (2003). *Arbres en les estrelles*. Alzira: Universitat de Valencia i Bromera,.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education* (6ª ed.). New York: Routledge.

- Comins, N. F. (1993). Sources on Misconceptions in Astronomy. *Third International Seminar on Misconceptions and Educational strategies in Science and Mathematics*. New York, Cornell University: Ithaca.
- Davis, T., & Lineweaver, C. (2004). Expanding confusion: Common misconceptions of cosmological horizons and the superluminal expansion of the universe. *Astronomical Society of Australia*, 21(1), 97-109.
- Davis, T., & Lineweaver, C. H. (2005). Las paradojas de la gran explosión. *Investigación y ciencia* 344, 6-19.
- Decret del Consell 102/2008. (11 de Julio de 2008). *DOGV Nº 5806*.
- Decret del Consell 112/2007. (24 de Julio de 2007). *DOGV Nº 5562*.
- Domenech, A., & Bella, T. (2000). Astronomía en la educación secundaria obligatoria. *Alambique*, 23, 73-82.
- Domenech, A., Domenech, M., E., C. M., & Bella, M. (1985). Apuntes para una programación didáctica de la astronomía. *Enseñanza de las ciencias*, 3(3), 204-208.
- Dove, J. (2002). Does the man in the moon ever sleep? An analysis of students answers about simple astronomical events: a case study. *International Journal of Science Education*, 24(8), 823-834.
- Driver, N., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1992). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata - MEC.
- Duit, R., Gronpingieber, H., & Kattmann, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. En *Developing Standards in Research on Science Education*. London: Taylor & Francis Group.
- Einstein, A. (1986). *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Madrid: Alianza.

- Einstein, A., Newton, I., Mach, E., & al, e. (1973). *La teoría de la relatividad: sus orígenes e impacto en el mundo moderno*. Madrid: Alianza.
- Farrington N, B. (1986). *La civilización de Grecia y Roma*. Leviatán.
- Fernández Uría, E., & Morales Lamuela, M. (1984). La astronomía en el bachillerato. *Enseñanza de las ciencias*, 2(2), 121-124.
- Fernández, T., & Montesinos, B. (2007). *El desafío del universo*. Madrid: Espasa Calpe.
- Ferris, T. (2007). *La aventura del universo*. Madrid: Crítica.
- Forer, B. R. (1949). The fallacy of personal validation: A classroom demonstration of gullibility. . *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 44, 118-123.
- Furió, C., & Vilches, A. (1997). Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones CTSA. En VV.AA., *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria* (págs. 47-71). Barcelona: Horsori.
- Galileo. (1994). *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Traducción de Antonio Beltrán. Madrid: Alianza Editorial.
- Gamow, G. (1993). *La creación del universo*. Barcelona: RBA Editores.
- García Barros, S., Mondelo Alonso, M., & Martínez Losada, C. (1996). La astronomía en la formación de profesores. *Alambique* 10, 121-127.
- García, S. (1986). Herramientas astronómicas baratas. *Cuadernos de pedagogía*, 136, 27-33.
- Gavidia, V. (2008). Didáctica de las ciencias experimentales y sociales. *Las actitudes en la educación científica*. 22, 53-66.
- Gil, D., & Solbes, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-260.

- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C., & Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la Educación Secundaria*. Barcelona: Horsori-ICE Universidad de Barcelona.
- Ginnobili, S., & Carman, C. (2008). Deferentes, epiciclos y adaptaciones. En *Filosofia e história da ciência no Cone Sul. Seleção de trabalhos do 5º Encontro* (págs. 399-408). Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC).
- Giordan, A. (1997). ¿Las ciencias y las técnicas en la cultura de los años 2000? *Kikiriki*, 44-45, 33-34.
- Gómez, M. A., Pozo, J. I., & Gutiérrez, M. S. (2004). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia. *Educación Química*, 15(3), 198-210.
- Grup Astre. (1998). *Materials didàctics per a l'ensenyament de l'Astronomia*. Valencia: Nau Llibres. Premi Baldori Reixach 1997.
- Guisasola, J., Solbes, J., Barragués, J., Moreno, A., & Morentin, M. (2009). Student understanding of the Special Theory of Relativity and design for a guided visit to a science museum International. *Journal of Science Education*, 31(15), 2085-2104.
- Hansson, L. R. (2006). Swedish Upper Secondary Student's Views of the Origin and Development of the Universe. *Research in Science Educations*, 36, 355-379.
- Harrison, A., & Treagust, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Harvey, S. (2004). *Nasa - Planetary Season*. Recuperado el 01 de 08 de 2013, de http://www.nasa.gov/audience/foreducators/postsecondary/features/F_Planet_Seasons.html
- Hawking, S. (1988). *La historia del tiempo*. Madrid: Alianza.
- Holton, G., & Bruhs, S. (1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.

- Holton, G., & Roller, D. (1963). *Fundamentos de la Física Moderna*. Barcelona: Reverté.
- Jiménez Liso, M., López-Gay, R., & Martínez Chico, M. (2012). Como trabajar en el aula los criterios para aceptar o rechazar modelos científicos. *Alambique* 72, 47-54.
- Jiménez-Aleixandre E, M., Gallastegui, J., Eirexas, F., & Puig, B. (2009). *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Santiago de Compostela: Danú.
- Jiménez-Aleixandre, M. (2010). *10 Ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Kragh, H. (2007). *Generaciones Cuánticas*. Madrid: Ediciones Akal.
- Kragh, H. (2011). On Modern Cosmology and its Place in Science Education. *Science & Education*, 20(3-4), 343-357.
- Krauss, L., & Turner, M. (1999). Geometry and Destiny. *General Relativity and Gravitation*, 31(10), 1453-1459.
- Lanciano, N. (1989). Ver y hablar como Tolomeo y pensar como Copérnico. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 173-182.
- Lima, P. J., Lang Da Silveira, F., & Ostermann, F. (2012). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(1403).
- López-Gay, R., Jiménez Liso, R., Osuna, L., & Martínez-Torregrosa, J. (2009). El aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Una oportunidad para la formación de maestros. *Alambique*, 61, 27-38.
- Maiztegui, A., Acevedo, J., Caamaño, A., Cachapuz, A., Cañal, P., Carvalho, A., . . . Vilches, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana de Educación* 28, 129-155.
- Manassero, M. V. (2001). *Avaluació dels temes de Ciència, tecnologia i Societat*. Illes Balears: Conselleria d'Educació i Cultura.

- Martínez Sebastiá, 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. RELEA*, 1, 7-32.
- Martínez Usó, M. (2007). Sirio y el calendario Egipcio. (Instituto Valenciano de Egiptología, Ed.) *La puerta de Maat* 8, 14-17.
- Martínez, V., Miralles, J., & Marco, E. (2001). *Astronomía fonamental*. Universitat de Valencia.
- Mason, S. (1985). *Historia de las ciencias Vol. 5*. Madrid: Alianza.
- Mathews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las Ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias*, 2(12), 275-277.
- McDonald, L. (2008). *Cómo observar el Sol de forma segura*. Ediciones AKAL.
- Membiela. (2002). *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología- Sociedad*. Madrid: Narcea, SA.
- Moreno, A. (2000). "Pesar" la tierra: Test newtoniano y origen de un anacronismo. *Enseñanza de las ciencias*, 18(2), 319-332.
- Moreno, M. (1994). Secuenciación de contenidos y enseñanza de las astronomía. *Alambique*, 14, 61-71.
- Morentin, M., & Guisasola, J. (2013). Visitas escolares a centros de ciencias basadas en el aprendizaje. *Alambique* 73, 61-68.
- Mulholland, J., & Ginns, I. (2008). College Moon Project Austrlia: Preservice Teachers Learning about the Moon's Phases. *Research in Science Education* 38, 385-399.
- Munby, H. (1997). Issues of validity in science attitude measurement. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (4), 337-341.
- Navarro, J. (2005). *Somnis de Ciència*. Alzira: Bromera.

- Navarro, V. (1991). *Galileo: Antología*. Barcelona: Península.
- Ogan-Bekiroglu, Feral. (2007). Effects of Model-based Teaching on Pre-service Physics Teachers' Conceptions of the Moon, Moon Phases, and Other Lunar Phenomena. *International Journal of Science Education*, 29(5), 555-593.
- Oliva-Martínez, J., & Aragón-Méndez, M. d. (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: Marco teórico. *Enseñanza de las ciencias*, 27 (2), 195–208.
- Orden ECI/2220/2007. (21 de Julio de 2007). *BOE Nº 174*.
- Osuna, L., Trives, M., Molina, J., de la Rosa, C., & Sogorb, A. (1998). *Astronomía* (1ª Ed. ed.). Alicante: Aguaclara.
- Park, R. (2003). *Ciencia o vudú*. Barcelona: R.H. Mondadori.
- Parker, J., & Heywood, D. (1998). The earth and beyond: developing primary teacher's understanding of astronomical events. *International Journal of Science Education*, 20, 503-519.
- Pasachoff, J. M. (Septiembre de 2001). What Should Students Learn? *The phisycs teacher*, 39, 381-383.
- Pedrinacci, A., Caamaño, A., Cañal, P., & Pro, A. (2012). *El desarrollo de la competencia científica*. Barcelona: Graó.
- Pérez Ortiz, J. (2006). La medición del tiempo y los relojes de Sol. *Discurso Leído en el acto de su recepción como Académico Correspondiente en Alicante*. Arrecife (Lanzarote).
- Pérez, H., & Solbes, J. (2003). Algunos problemas en la enseñanza de la Relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 135-146.
- Perucho, M., & Ferrando, J. (2009). Monogràfic: La mirada de Galileu. 400 anys d'Astronomia moderna. *Mètode*, 64, 46-107.
- Petit, M., & Solbes, J. (2012). La ciencia ficción y la enseñanza de las ciencias. . *Enseñanza de las ciencias*, 30(2), 69-86.

- Pozo, J. I., & Gómez, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Randi, J. (1994). *Fraudes paranormales*. Girona: Susaeta Ediciones.
- Real Decreto 1467/2007. (2 de Noviembre de 2007). *BOE* Nº 266.
- Real Decreto 1513/2006. (7 de Diciembre de 2006). *BOE* núm. 293.
- Reeves, H., De Rosnay, J., & Coppens y Simonnet, D. (2001). *La història més bella del món*. Barcelona: Edicions 62.
- Roca Cortés, T. (2009). Astronomía, ¿para qué? *Números*, 72, 7-16.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Belgium: European Communities. Obtenido de http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf.
- Rodríguez, J. (1998). Astronomía en el mundo Maya. *Astronomía Digital*(1).
- Ros, R. M. (2009). Abrir los ojos a la ciencia: una razón para enseñar astronomía. *Alambique* 61, 9-17.
- Saballs, P. (2004). Del microcosmos al macrocosmos. *Alambique*, 42, 111-117.
- Sagan, C. (1984). *El cerebro de Broca*. Barcelona: Gribaldo.
- Sagan, C. (1998). *Miles de Millones*. Barcelona: Ediciones B.
- Sagan, C. (2004). *Cosmos*. Madrid: Editorial Planeta.
- Sahuquillo, E., Jiménez-Aleixandre, M., Domingo, F., & Álvarez, M. (1993). Un currículo de ciencias equilibrado desde la perspectiva de género. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 51-59.

- Saltiel, E., & Viennot, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento de los estudiantes? *Enseñanza de las ciencias*, 3(2), 137-144.
- Sánchez Ron, J. (2006). *El poder de la ciencia*. Madrid: Crítica.
- Sánchez Ron, J. M. (1999). *Como al león por sus garras*. Barcelona: Random House Mondadori.
- Scarinci, A. L., & Lopes de Almeida Pacca, J. (2006). Um curso de astronomia e as pré-concepções dos alunos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(1), 89-99.
- Schoon, K. (1995). The origin and extent of alternative conceptions in the Earth and space sciences: a survey of preservice elementary teachers. *Journal of Elementary Science Education*, 7(2), 27-46.
- Sección didáctica CAC S.A. (Noviembre de 2011). Jardín de astronomía. Guía del profesor. Valencia. Recuperado el 20 de Octubre de 2012, de http://www.cac.es/digitalAssets/164150_GD_JardinAstronom_v6.pdf
- Serres, M. (1991). *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra.
- Simpson, R., Kobala, T., Oliver, J., & Crawley, F. (1994). *Research on the affective dimension of science learning*. New York: McMillan Pub. Co.
- Smolin, L. (2007). *Las dudas de la física en el siglo XXI*. Barcelona: Crítica.
- Solbes, J. (2002). *Les empremtes de la ciència*. Alzira: Germania.
- Solbes, J. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 2-20.
- Solbes, J. (2011). ¿Por qué disminuye el alumnado de ciencias? *Alambique* 67, 53-62.
- Solbes, J. (2013). ¿Física contemporánea o física para la ciudadanía? *Alambique* 75, 9-17.

- Solbes, J., & Tarín, P. (1996). *Física 2º bachillerato*. Barcelona: Octaedro.
- Solbes, J., & Traver, M. (1996). La utilización de la historia de la ciencias en la enseñanza de la física y química. *Enseñanza de las ciencias*, 14(1), 103-112.
- Solbes, J., & Traver, M. (2003). Against negative image of science: history of science in the physics & chemistry education. *Science & Education*, 12, 703-717.
- Solbes, J., & Vilches, A. (1989). Interacciones CTS: Un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las ciencias*, 7(1), 14-20.
- Solbes, J., & Vilches, A. (1995). El profesorado y las actividades CTS. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 3, 30-38.
- Solbes, J., & Vilches, A. (1997). STS interactions and the teaching of physics and chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.
- Solbes, J., Marco, D., Tarín, F., & Traver, M. (2010a). El lugar de la tierra en el universo. En J. SOLBES, & AL, *Ciencias para el mundo contemporáneo. Libro para el alumnado* (págs. 1-25). Madrid: Ministerio de Educación. Disponible en: http://leer.es/wp-content/uploads/web_cmc/CMC_LibroEstudiantes/T_1_ElLugardeLaTierraEnEluniverso.pdf.
- Solbes, J., Marco, D., Tarín, F., & Traver, M. (2010b). El lugar de la tierra en el universo. En J. SOLBES, & e. AL, *Ciencias para el mundo contemporáneo. Libro para el profesorado* (págs. 1-10). Madrid: Ministerio de Educación. Disponible en: http://leer.es/wp-content/uploads/web_cmc/CMC_LibroDocentes/T_1_ElLugardeLaTierraEnEluniverso.pdf.
- Solbes, J., Montserrat, R., & Furió, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 21, 91-117.
- Solis, C., & Selles, M. (2013). *Historia de la Ciencia*. Madrid: Espasa Calpe.

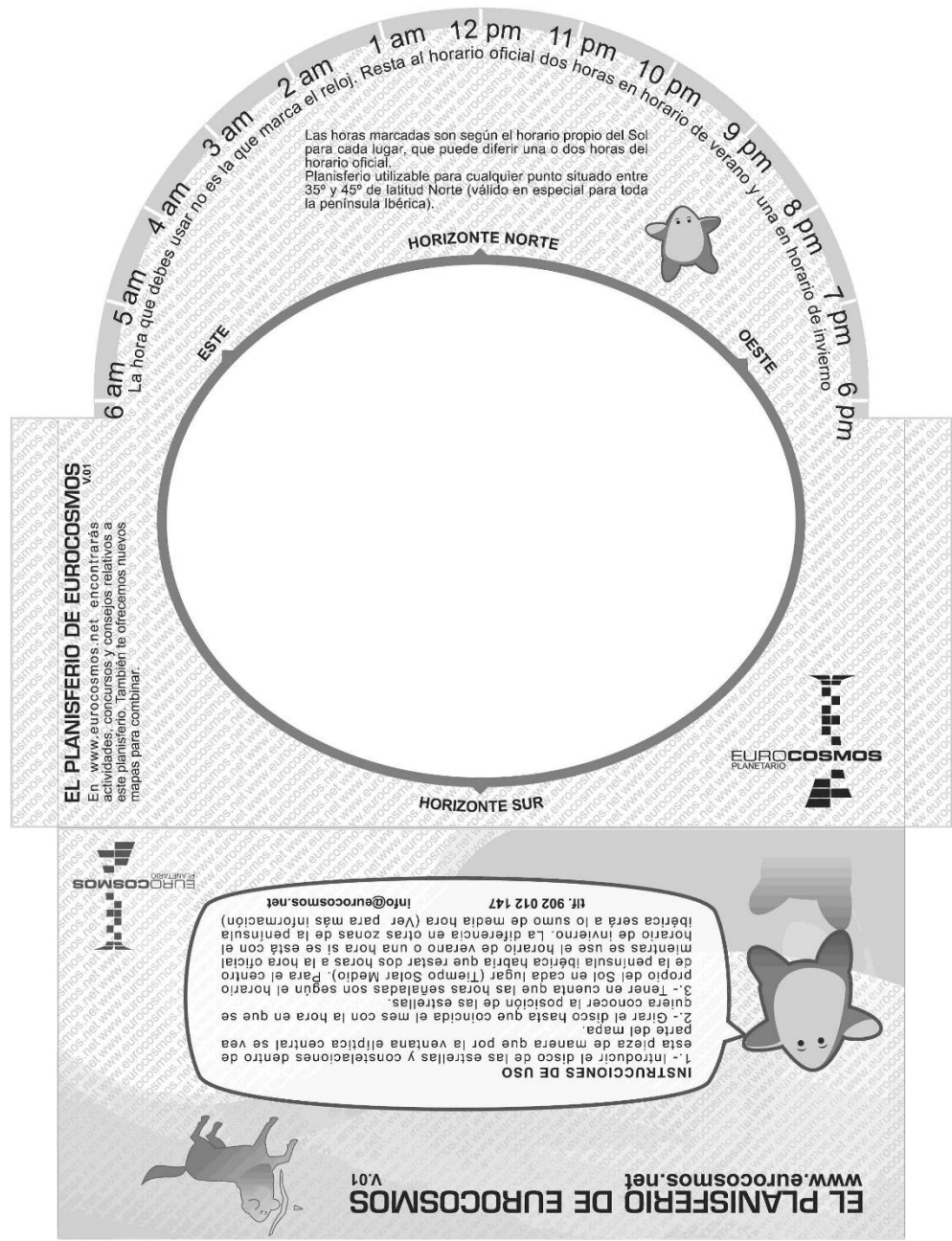
- Stanford Solar Center. (2008). *Ancient Observatories*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2011, de Bighorn Medicine Wheel: <http://solar-center.stanford.edu/AO/bighorn.html>
- Taton, R., & al. (1972). *La ciencia moderna (s XVI, XVII y XVIII)*. Barcelona: Destino.
- Taton, R., & al. (1973). *La ciencia contemporánea (s XIX)*. Barcelona: Destino.
- Ten, A., & Monros, M. (1984). Historia y enseñanza de la astronomía. Los primitivos instrumentos y su utilización pedagógica I. *Enseñanza de las ciencias*, 3(1), 49-56.
- Ten, A., & Monrós, M. (1985). Historia y enseñanza de la astronomía II. La posición de los cuerpos celestes. *Enseñanza de las ciencias*, 2(1), 47-56.
- The New York Times*. (9 de Octubre de 1921). Recuperado el 28 de Noviembre de 2010, de http://query.nytimes.com/mem/archive-free/pdf?_r=1&res=9B05E0D81439E133A2575AC0A9669D946095D6CF
- Trimble, V. (2013). History of Dark Matter in Galaxies. En G. Gilmore, *Galactic Structure, vol 5 of Planets, Stars and Stellar Systems* (págs. 1091-1118). Springer.
- Trumper, R. (2001). A cross-age study of junior high school students' conceptions on basic astronomy concepts. *International Journal of science education*, 23(11), 1111-1123.
- Trundle, K. C., Atwood, R. K., & Christopher, J. E. (2007). Fourth Grade Elementary Students' Conceptions on Standards-Based Lunar Concepts. *International Journal of Science Education*, 29(25), 595-616.
- Universidad de Maine. (2007). *Solar System - Chinese Astronomy*. Recuperado el Octubre de 2010, de <http://hua.umf.maine.edu/China/astronomy/index.html#7>
- Valenzuela, M. (2010). El nacimiento de la astronomía antigua: Estabilizaciones y Desestabilizaciones culturales. *A Parte Rei*, 70.

- Vázquez, A., & Manassero, M. A. (2007). *Los intereses curriculares en ciencia y tecnología de los estudiantes de secundaria*. Palma: Universitat de les Illes Balears.
- Vega Navarro, A. (2001). Tenerife tiene seguro de Sol (y de luna): Representaciones del profesorado de primaria acerca del día y la noche. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 31-44.
- Vega Navarro, A. (2001). *Tesis Doctoral: Sol y luna, una pareja precopernicana. Estudio del día y de la noche en educación infantil*. Universidad de La Laguna.
- Verne, J. (1865). De la Tierra a la Luna. *Journal des débats politiques et littéraires*.
- Verne, J. (1870). Alrededor de la Luna. *Journal des débats politiques et littéraires*.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique*. París: De Boek & Larcier s.a. .
- Vilches, A., & Gil, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.
- Vilches, A., Gil, D., & Solbes, J. (2001). Las relaciones CTS y la alfabetización científica y tecnológica. *Actes V jornades de la Curie*.
- Vilenkin, A. (2006). *Muchos mundos en uno*. Barcelona: Alba Editorial.
- Weinberg, S. (1977). *Los tres primeros minutos del universo*. Madrid: Alianza.
- Zuza, K., & Alduncin, J. A. (2009). ¿Se puede conseguir que los estudiantes se aficionen a la astronomía si no pueden disfrutar del cielo nocturno? *Alambique* 61, 65-72.

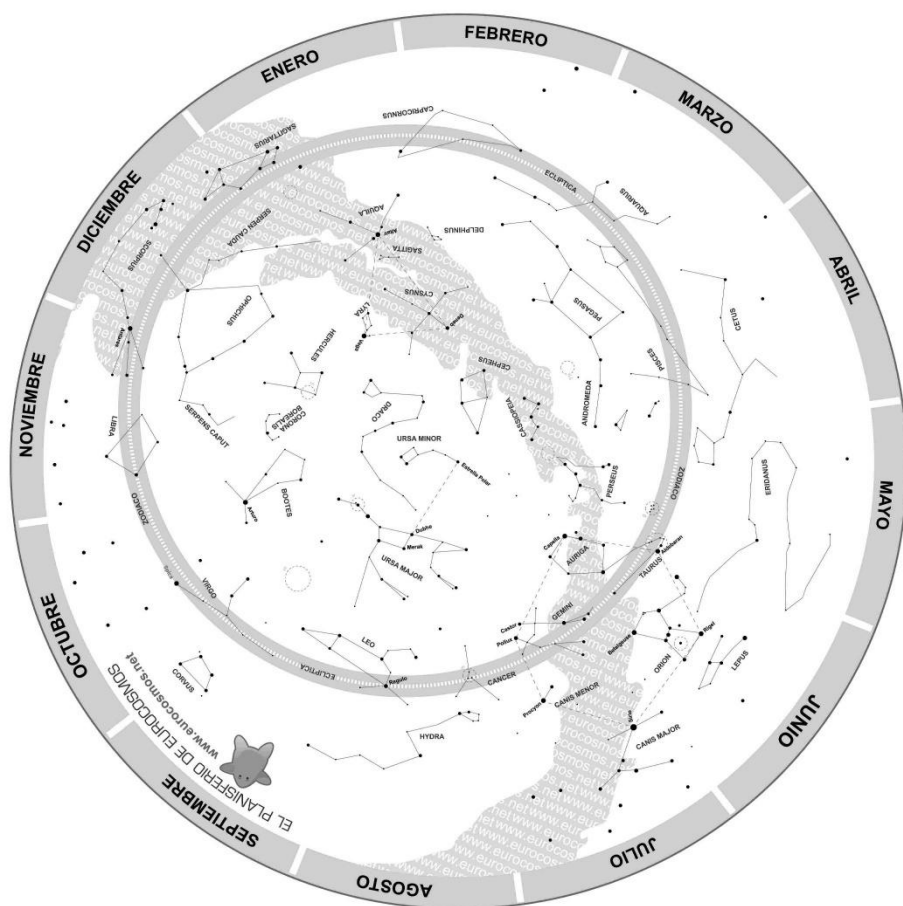
ANEXOS

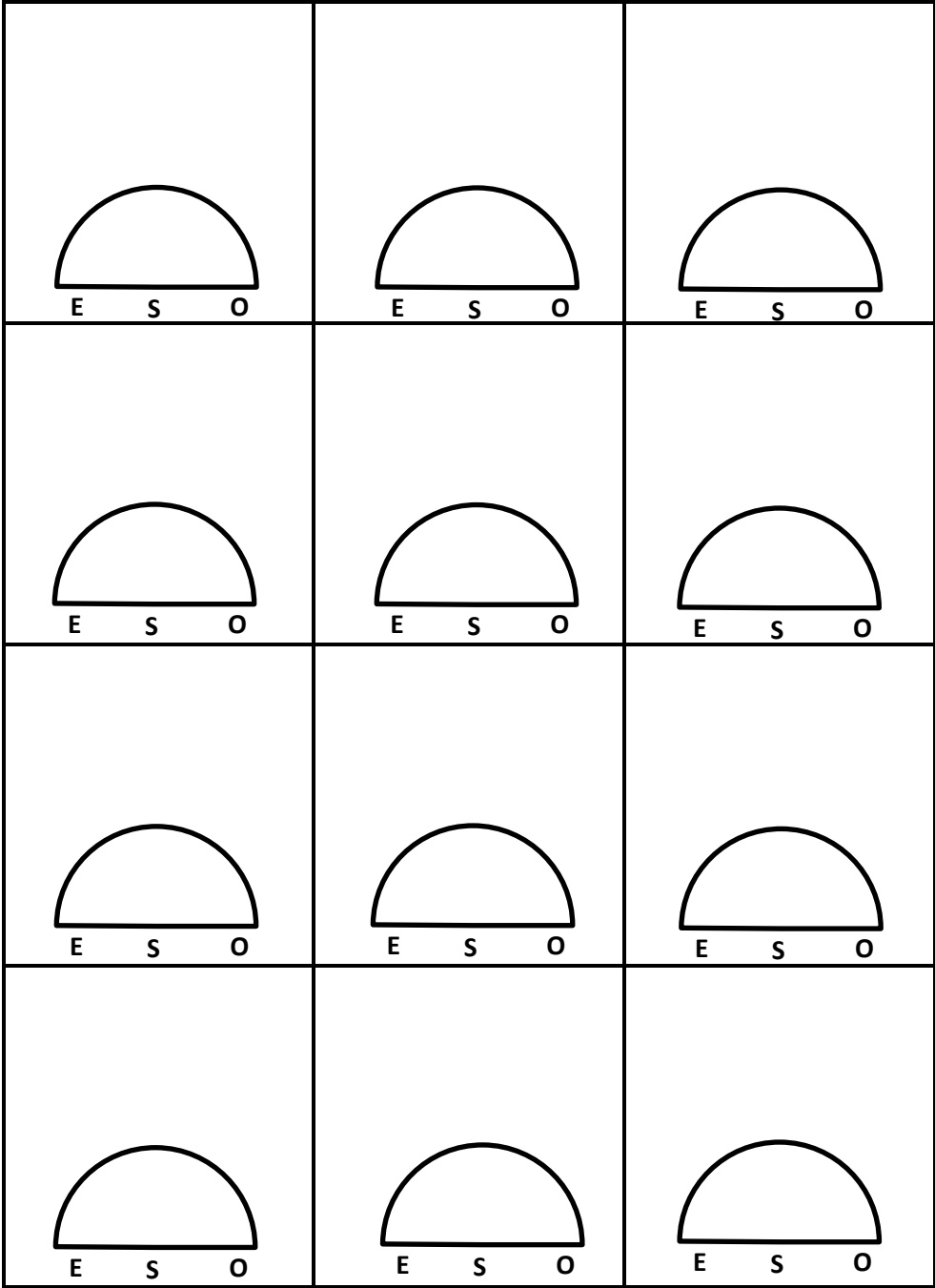
I. Complementos a algunas actividades de la propuesta

A.4. Visor del planisferio celeste



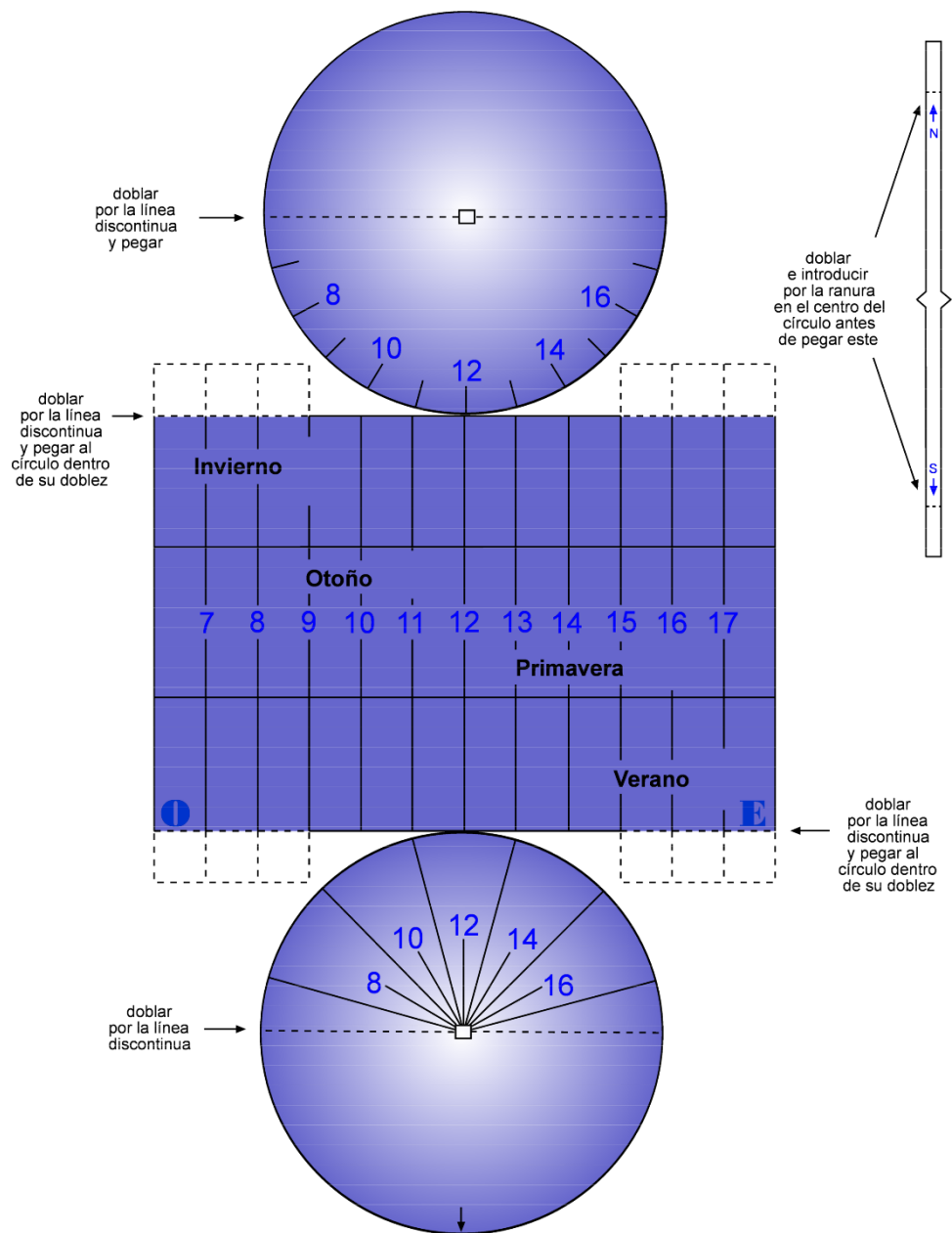
A.4. Carta de estrellas del planisferio celeste



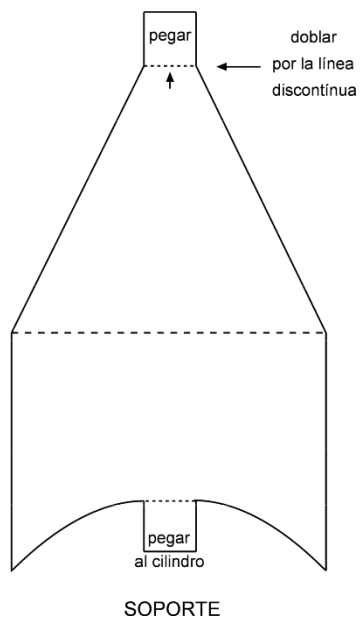


A.6. Plantilla observación lunar

A.12. (Complementaria) Recortable con instrucciones para construir un reloj de Sol en cartulina



A.12. (Complementaria) Recortable con instrucciones para construir un reloj de Sol en cartulina



A.13. A continuación se muestran las instrucciones para visualizar el orto helíaco de Sirio en el programa Stellarium.

- ❖ Pinchamos en el botón pantalla completa y así pasamos a ejecutar el programa en una ventana (también funciona presionando F11).
- ❖ Ahora acercamos el cursor a la parte izquierda de la pantalla hasta que se despliega la barra lateral. Para introducir el lugar desde el que queremos observar, escogemos la primera opción, Ventana de ubicación (o pulsamos F6).
- ❖ Como lugar escogemos la ciudad de Menfis (en Wikipedia podemos encontrar las coordenadas de la ciudad de Menfis: 29°58'33.744"N; 31°7'49.476" E) y configuramos la localización en el programa Stellarium de la siguiente forma:
 - En la casilla de la Latitud colocamos N 29°58'33.74"
 - En la casilla de la Longitud colocamos E 31°07'49.47"
 - En la casilla de la altitud colocamos 38 m.
 - En la casilla Nombre/Ciudad, tecleamos Menfis
 - En la casilla País escogemos Egypt.
 - Por último presionamos en el botón Añadir a la lista y así ya tenemos añadida para futuras investigaciones.
- ❖ Para escoger el tiempo en el que vamos a observar podemos elegir alguna de las fechas que se proponen para el comienzo del calendario Egipcio (Martínez Usó, 2007), por ejemplo el año 2780 a.C.

El orto helíaco de Sirio tiene lugar en el solsticio de verano que actualmente tiene lugar alrededor del 21 de Junio. En la época en la que queremos observar y debido al movimiento de precesión del eje terrestre, tiene lugar aproximadamente un mes después, tomaremos la fecha 18-07-2780 a.C. En la barra lateral escogemos Ventana de fecha/hora (o pulsamos F5) y en el cuadro que aparece introducimos los datos de la fecha y hora de nuestra observación.



- ❖ Ahora debemos mirar al horizonte Este para observar la salida de Sirio tal y como hacían los antiguos. Para esto podemos desplazarnos con las flechas de dirección del teclado o pinchando con el ratón y arrastrando, hasta que el punto cardinal Este aparezca en nuestra pantalla.
- ❖ Si vamos de uno en uno los minutos en la ventana fecha y hora, vemos como el cielo cambia y por el Sureste aparece una estrella más brillante que el resto, Sirio.



- ❖ Si pasamos unos cuantos minutos más vemos como el Sol empieza a resplandecer por el Este y Sirio va perdiendo luminosidad.

A.37. Detalle de resolución de realizar una escala del sistema solar

Para empezar, debemos representar el sistema solar a escala. Para conseguir una imagen más realista, utilizaremos la misma escala para las distancias al Sol de los planetas y para los diámetros. Esta escala es la que considera al Sol una esfera de 80 cm de diámetro.

Teniendo en cuenta que el diámetro del Sol es de 1392000 km, esto significa que debemos multiplicar cada diámetro por el factor de escala $\frac{80}{1392000}$ y así obtendremos el diámetro en cm de todos los planetas en la escala tomada.

Para el cálculo de las distancias en la misma escala procedemos de igual forma, multiplicando cada distancia por el factor de escala $\frac{80}{1392000}$, y así se obtienen las distancias al Sol en cm. Como es una unidad muy pequeña para nuestra escala, multiplicamos el resultado por 0,01 y así la obtendremos en metros.

	Diámetro (km)	Diámetro a escala (cm)	Distancia (km)	Distancia a escala (m)
Sol	1392000	80,00	0	0
Mercurio	4870	0,28	58000000	33,33
Venus	12103	0,70	108000000	62,07
Tierra	12756	0,73	150000000	86,21
Marte	6786	0,39	228000000	131,03
Júpiter	142984	8,22	778000000	447,13
Saturno	120536	6,93	1427000000	820,11
Urano	51118	2,94	2871000000	1650,00
Neptuno	49528	2,85	4497000000	2584,48

Ejemplo:

Para calcular el diámetro a escala del planeta Mercurio:

$$\frac{80}{1392000} \cdot 4870 = 0,28 \text{ cm}$$

Para calcular la distancia a escala del planeta Mercurio al Sol:

$$\frac{80}{1392000} \cdot 58000000 \cdot 0,01 = 33,33 \text{ cm}$$

Sobre la escala diámetro: Piensa en un objeto (a ser posible esférico) que represente a cada uno de los planetas con la escala elegida.

Sobre la escala de distancia: Representa en un plano de tu colegio (o ciudad) a cada uno de los planetas según la escala escogida.

II. Tablas y figuras correspondientes al análisis de los resultados obtenidos al poner de prueba la segunda hipótesis.

En este anexo se recogen las tablas e histogramas ofrecidos por SPSS al realizar algunas de las pruebas estadísticas del apartado 0.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
		SUMA_PRE
N		99
Parámetros normales ^{a,b}	Media	2,75
	Desviación típica	2,242
Diferencias más extremas	Absoluta	,203
	Positiva	,203
	Negativa	-,137
Z de Kolmogorov-Smirnov		2,016
Sig. asintót. (bilateral)		,001
a. La distribución de contraste es la Normal.		
b. Se han calculado a partir de los datos.		

Tabla 64. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones en pre-test

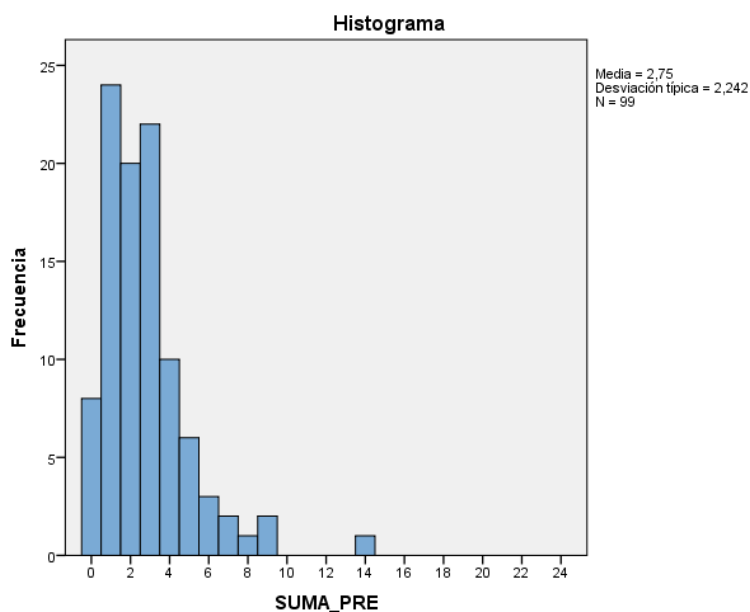


Figura 35. Histograma obtenido con las puntuaciones en el pre test

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
		SUMA_POST
N		99
Parámetros normales ^{a,b}	Media	7,82
	Desviación típica	4,592
Diferencias más extremas	Absoluta	,136
	Positiva	,136
	Negativa	-,082
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,357
Sig. asintót. (bilateral)		,050
a. La distribución de contraste es la Normal.		
b. Se han calculado a partir de los datos.		

Tabla 65. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones en el post-test

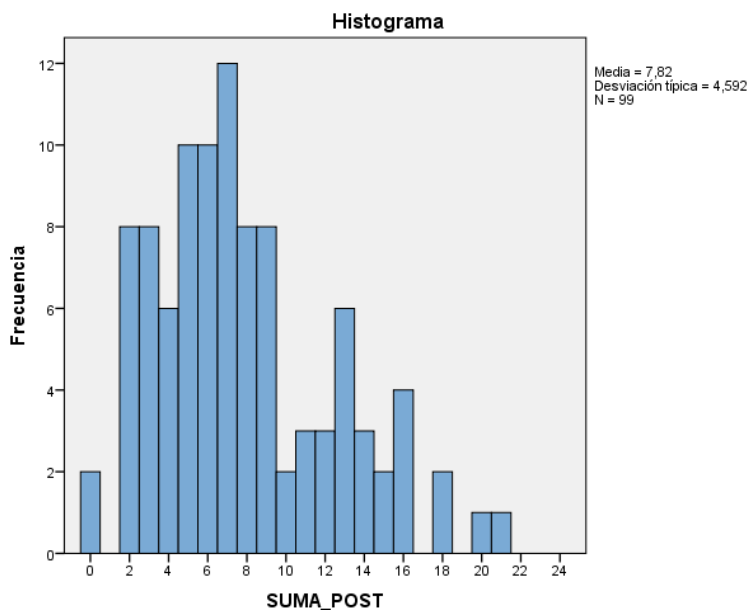


Figura 36. Histograma obtenido con las puntuaciones en el post-test

Rangos				
		N	Rango promedio	Suma de rangos
SUMA_POST - SUMA_PRE	Rangos negativos	6 ^a	10,00	60,00
	Rangos positivos	89 ^b	50,56	4500,00
	Empates	4 ^c		
	Total	99		
a. SUMA_POST < SUMA_PRE				
b. SUMA_POST > SUMA_PRE				
c. SUMA_POST = SUMA_PRE				

Tabla 66. Rangos obtenidos con la prueba de Wilcoxon a las puntuaciones totales en pre-test y post-

test

Estadísticos de contraste ^a	
	SUMA_POST - SUMA_PRE
Z	-8,252 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,000
a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon	
b. Basado en los rangos negativos.	

Tabla 67. Resultado prueba de Wilcoxon puntuaciones totales en pre-test y post-test

Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error ^a				
	F	gl1	gl2	Sig.
SUMA_PRE	5,584	1	97	,020
SUMA_POS	12,738	1	97	,001
T				
Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.				
a. Diseño: Intersección + OPCION				
Diseño intra-sujetos: pre_post				

Tabla 68. Resultado contraste de Levene en SPSS

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
		SUMA_PRE
N		40
Parámetros normales ^{a,b}	Media	3,175
	Desviación típica	2,8813
Diferencias más extremas	Absoluta	,212
	Positiva	,212
	Negativa	-,135
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,343
Sig. asintót. (bilateral)		,054
a. La distribución de contraste es la Normal.		
b. Se han calculado a partir de los datos.		

Tabla 69. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones de los estudiantes de científico-tecnológico en el pre-test

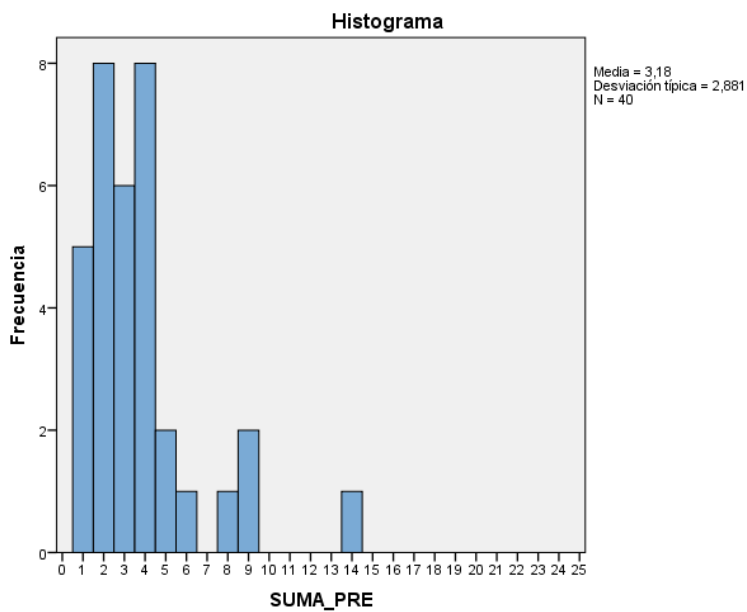


Figura 37. Histograma obtenido con las puntuaciones de los estudiantes de la modalidad científico-tecnológica en el pre test

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
		SUMA_PRE
N		59
Parámetros normales ^{a,b}	Media	2,46
	Desviación típica	1,643
Diferencias más extremas	Absoluta	,201
	Positiva	,201
	Negativa	-,154
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,545
Sig. asintót. (bilateral)		,017
a. La distribución de contraste es la Normal.		
b. Se han calculado a partir de los datos.		

Tabla 70. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones de los estudiantes de humanidades-ciencias sociales en el pre-test

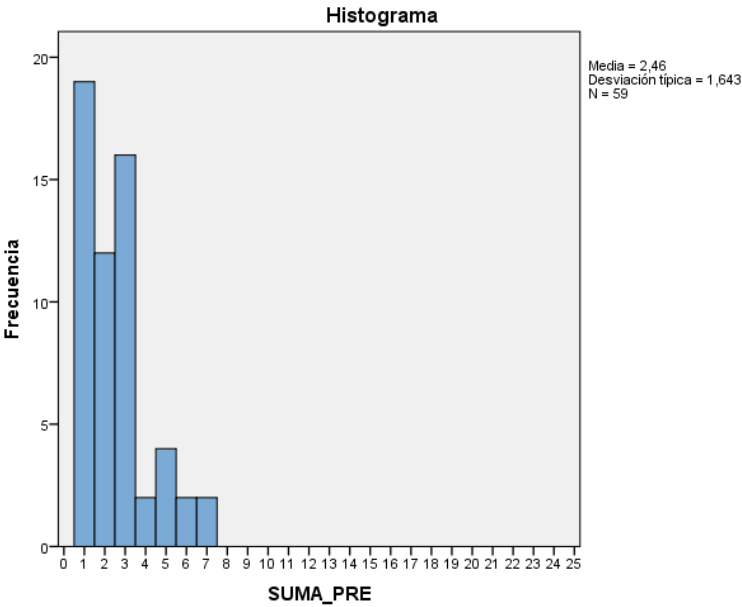


Figura 38. Histograma obtenido con las puntuaciones de los estudiantes de la modalidad humanidades-ciencias sociales en el pre test

Rangos

	OPCION	N	Rango promedio	Suma de rangos
SUMA_PRE	C-T	40	53,59	2143,50
	H-C.S.	59	47,57	2806,50
	Total	99		

Tabla 71. Rangos obtenidos con la prueba U Mann-Whitney con los grupos pre-test de científico-tecnológico y humanidades-ciencias sociales

Estadísticos de contraste ^a	
	SUMA_PRE
U de Mann-Whitney	1036,500
W de Wilcoxon	2806,500
Z	-1,042
Sig. asintót. (bilateral)	,298
a. Variable de agrupación: OPCION	

Tabla 72. Estadístico U Mann-Whitney con los grupos pre-test de científico-tecnológico y humanidades-ciencias sociales

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra			
		SUMA_PRE	SUMA_POST
N		40	40
Parámetros normales ^{a,b}	Media	3,18	10,75
	Desviación típica	2,881	4,792
Diferencias más extremas	Absoluta	,212	,143
	Positiva	,212	,143
	Negativa	-,135	-,081
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,343	,901
Sig. asintót. (bilateral)		,054	,391
a. La distribución de contraste es la Normal.			
b. Se han calculado a partir de los datos.			

Tabla 73. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para los estudiantes de ciencias

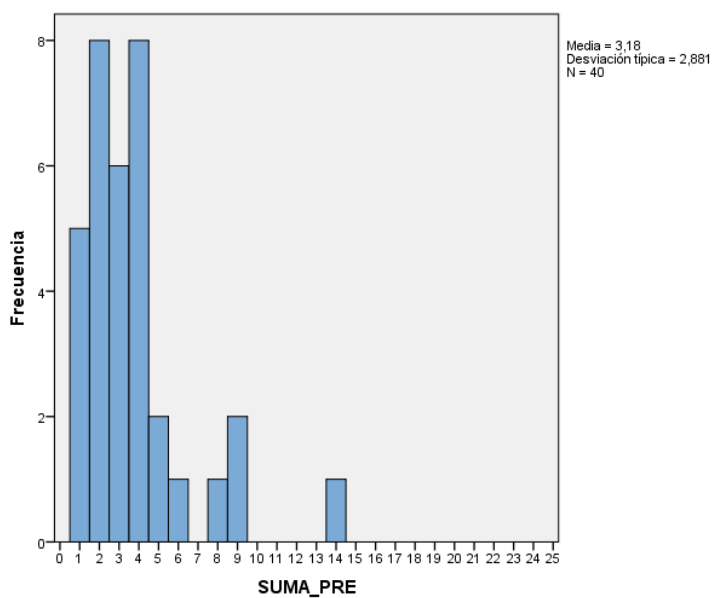


Figura 39. Histograma obtenido con las puntuaciones de los estudiantes de científico-tecnológico en el pre-test

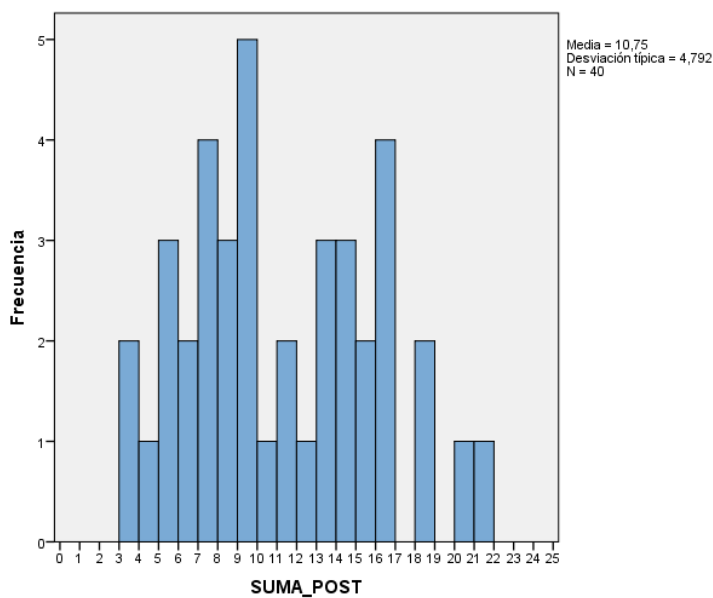


Figura 40. Histograma obtenido con las puntuaciones de los estudiantes de científico-tecnológico en el post-test

Estadísticos de muestras relacionadas					
		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	SUMA_PRE	3,18	40	2,881	,456
	SUMA_POST	10,75	40	4,792	,758

Tabla 74. Estadísticos descriptivos para las variables puntuaciones en el pre-test y en el post-test

Correlaciones de muestras relacionadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	SUMA_PRE y SUMA_POST	40	,466	,002

Tabla 75. Significación asintótica entre las variables puntuaciones en el pre-test y en el post-test

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra			
		SUMA_PRE	SUMA_POST
N		59	59
Parámetros normales ^{a,b}	Media	2,46	5,83
	Desviación típica	1,643	3,201
Diferencias más extremas	Absoluta	,201	,103
	Positiva	,201	,103
	Negativa	-,154	-,082
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,545	,793
Sig. asintót. (bilateral)		,017	,556
a. La distribución de contraste es la Normal.			
b. Se han calculado a partir de los datos.			

Tabla 76. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para los estudiantes de humanidades-ciencias sociales

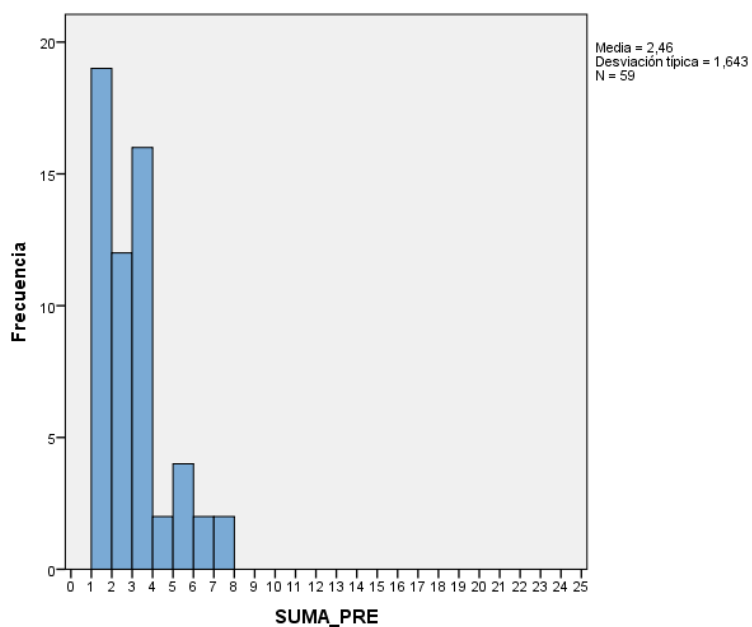


Figura 41. Histograma obtenido con las puntuaciones de los estudiantes de humanidades-ciencias sociales en el pre-test

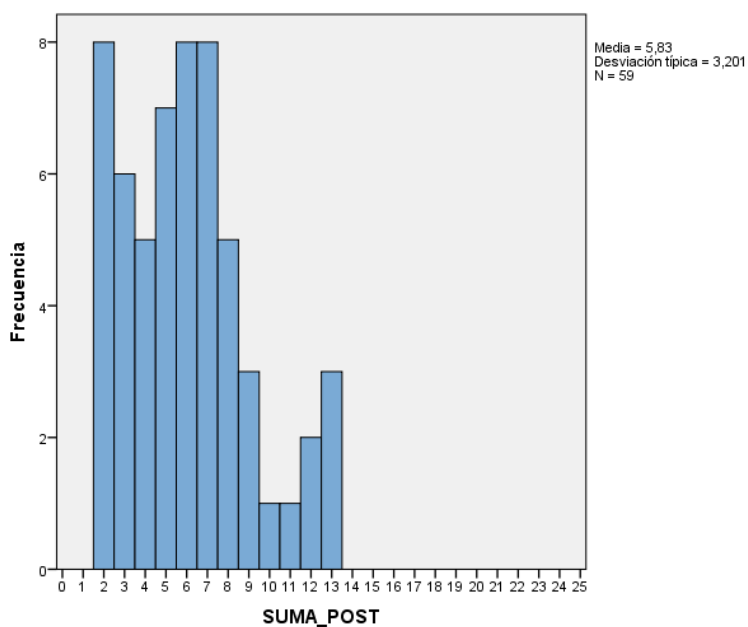


Figura 42. Histograma de las puntuaciones de los estudiantes de humanidades-ciencias sociales en el post-test

Rangos				
		N	Rango promedio	Suma de rangos
SUMA_POST - SUMA_PRE	Rangos negativos	6 ^a	9,00	54,00
	Rangos positivos	50 ^b	30,84	1542,00
	Empates	3 ^c		
	Total	59		
a. SUMA_POST < SUMA_PRE				
b. SUMA_POST > SUMA_PRE				
c. SUMA_POST = SUMA_PRE				

Tabla 77. Rangos obtenidos con la prueba de Wilcoxon a las puntuaciones totales de los estudiantes de humanidades-ciencias sociales en pre-test y post-test

Estadísticos de contraste ^a	
	SUMA_POST - SUMA_PRE
Z	-6,085 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,000
a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon	
b. Basado en los rangos negativos.	

Tabla 78. Resultado prueba de Wilcoxon puntuaciones totales de los estudiantes de humanidades-ciencias sociales en pre-test y post-test

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra			
		SUMA_POS T_Ciencias	SUMA_POS T_HUMANIDADES
N		40	59
Parámetros normales ^{a,b}	Media	10,75	5,83
	Desviación típica	4,792	3,201
Diferencias más extremas	Absoluta	,143	0,103
	Positiva	,143	0,103
	Negativa	-,081	-0,082
Z de Kolmogorov-Smirnov		,901	0,793
Sig. asintót. (bilateral)		,391	0,556
a. La distribución de contraste es la Normal.			
b. Se han calculado a partir de los datos.			

Tabla 79. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones de los estudiantes de humanidades-ciencias sociales en el post-test

Prueba de muestras independientes			
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	Sig.
SUMA_POST	Se han asumido varianzas iguales	12,738	,001
	No se han asumido varianzas iguales		

Tabla 80. Prueba de Levene para los estudiantes de ciencias y humanidades en post-test.

Prueba de muestras independientes					
		Prueba T para la igualdad de medias			
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
SUMA_POST	Se han asumido varianzas iguales	6,129	97	,000	4,919
	No se han asumido varianzas iguales	5,689	62,332	,000	4,919

Tabla 81. Prueba de muestras independientes los estudiantes de ciencias y humanidades en post-test.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
		SUMA_CON
N		113
Parámetros normales ^{a,b}	Media	3,7345
	Desviación típica	3,02672
Diferencias más extremas	Absoluta	,127
	Positiva	,127
	Negativa	-,109
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,348
Sig. asintót. (bilateral)		,053
a. La distribución de contraste es la Normal.		
b. Se han calculado a partir de los datos.		

Tabla 82. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para las puntuaciones en el grupo control

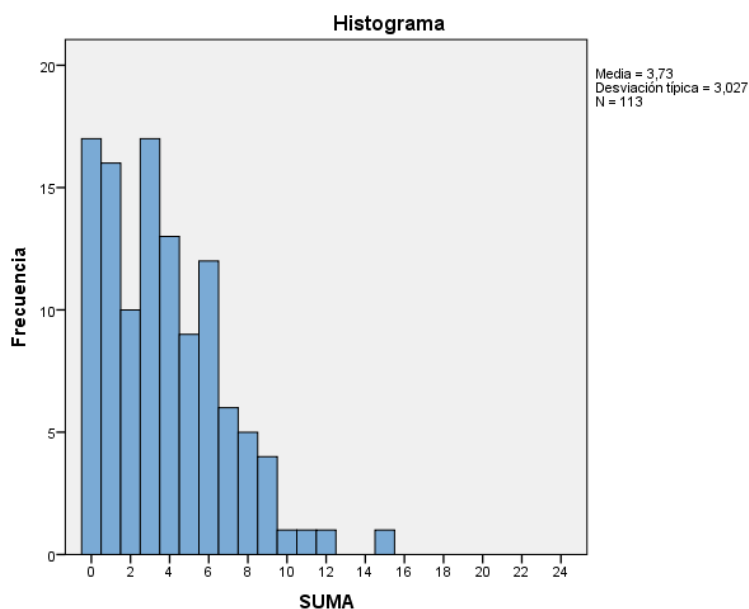


Figura 43. Histograma obtenido con las puntuaciones en el grupo control

Rangos				
	Grupo	N	Rango promedio	Suma de rangos
SUMA	Control	113	79.46	8979.00
	Post-test	99	137.36	13599.00
	Total	212		

Tabla 83. Rangos obtenidos con la prueba U Mann-Whitney con los grupos control y post-test

Estadísticos de contraste ^a	
	SUMA
U de Mann-Whitney	2538,000
W de Wilcoxon	8979,000
Z	-6,881
Sig. asintót. (bilateral)	0,000
a. Variable de agrupación: Grupo	

Tabla 84. Estadístico U Mann-Whitney para los grupos control y post-test

III. Referencias de los libros utilizados en el análisis de textos.

El análisis de los libros de texto de la asignatura de Ciencias para el Mundo Contemporáneo, se ha realizado con los siguientes ejemplares:

Anguita F., Carrión M., Cerezo J.M., Henche A.I, Hidalgo A.J., González J., Peña A., (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Madrid: Santillana.

Antolín M.C., Galadí-Enríquez D., Lezana M.C., Llofriu M.J., Méndez A., Calaforra L.P., Pertusa J.F., Basilisa J., Tuñón I., Vidal R., Quintás R. (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Valencia: Publicacions de la Universitat de València

Argüello J.A., Olazábal A., Lozano A., Manso P., Hernández J.J., Fuente M.R., (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Madrid: Bruño

Bernal J.M, Fernández-Mayoralas J., García J.L., Gil D., Pedrinaci E., Pérez A.A., Vilches A., Zamora J. (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. FECYT

Carlos Pulido Bordallo; Nicolás Rubio Sáez; Juan Manuel Roiz García (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Anaya

Delibes M., Torres M.^aD, Alonso Á., Fernández M.Á., Fernández M.^aP., Mingo B., Rodríguez R. (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Barcelona: Vicens Vives

Fabregat J., Peretó J., Sapiña F., García P.J., Ramón D., Edwards M., González F., Morales F.J. (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Madrid: Ecir.

Gonzales M., Agea A., Ballesteros F., Garcia M.E., Hernandez A., (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Nexus

Jiménez J.J., Montón J.A., Muñoz P.J., Prieto J.M., Serrano R., (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Madrid: Mc Graw Hill.

Marías I., Molina M.C., Arán J.M., (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Barcelona: Ocatadro

Martínez F., Turégano J.C., (2010). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Gobierno de Canarias

Ortega F.J., Arce F., Fernández J.A, Mora A., Pardo V., Pizarro A. (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Zaragoza: Edelvives

V.V.A.A. (2008). *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Teide

IV. Referencias de las imágenes utilizadas

Algunas de las imágenes de los distintos apartados están diseñadas para el trabajo, otras han sido obtenidas de Internet. La siguiente lista muestra las páginas de donde se obtuvieron.

- Figura 1. Representación de la geometría de los tres modelos de universo (obtenida en <http://map.gsfc.nasa.gov/media/990006/index.html>)
- Figura 5. Extracto del comic "Tintín en el tempo del Sol" (obtenida en http://leer.es/wp-content/uploads/web_cmc/CMC_LibroEstudiantes/T_1_ElLugardeLaTierraEnEluniverso_estudiantes.pdf)
- Figura 6. Extracto del texto "El Eclipse" de A. Monterroso (obtenida en http://leer.es/wp-content/uploads/web_cmc/CMC_LibroEstudiantes/T_1_ElLugardeLaTierraEnEluniverso_estudiantes.pdf)
- Figura 7. Planisferio celeste (obtenida en www.euocosmos.net)
- Figura 8. Planetario juguete (obtenida en <http://www.cefatoys.com/index.php/ES/detalle/431/astrocefa>)
- Figura 10. Captura de una simulación de las fases lunares (obtenida en <http://astro.unl.edu/naap/lps/animations/lps.swf>)
- Figura 11. Captura de una simulación de las fases lunares (obtenida en <http://ilovemedi.es/swf/fases-lunares.swf>)
- Figura 12. Contaminación lumínica años 1992 y 2010 (obtenida en <http://blog-idee.blogspot.com.es/2011/02/cartografia-de-la-contaminacion.html>)
- Figura 14. Inclinação nueve planetas (obtenida en <http://www.solarviews.com/cap/misc/obliquity.htm> This image is © copyright 1999 by Calvin J. Hamilton.)
- Figura 17. Ilustraciones originales de Galileo sobre las irregularidades de la Luna, las manchas del Sol y los satélites de Júpiter, de izquierda a derecha (obtenida en <http://www.wdl.org/es/item/4170/>)

- Figura 19. Representación artística de la Vía Láctea (obtenida en <http://www.spitzer.caltech.edu/images/1925-ssc2008-10b-A-Roadmap-to-the-Milky-Way-Annotated->)
- Figura 20. Distintos finales según la masa de la estrella (a partir de la original obtenida en http://www.nasa.gov/audience/forstudents/9-12/features/stellar_evol_feat_912_prt.htm)
- Figura 22. Corrimiento al rojo de la luz causado por la expansión del universo (obtenida en <http://www2.astro.psu.edu/users/cpalma/astro1h/class28.html>)
- Figura 24. Estructuras en el universo (obtenida en http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/Earth's_Location_in_the_Universe.jpg)
- Figura 25. Representación artística de las formas del universo según su densidad (obtenida en <http://map.gsfc.nasa.gov/media/990006/index.html>)
- Figura 26. Distintas mediciones obtenidas por WMAP indicarían distintas geometrías del universo (obtenida en <http://map.gsfc.nasa.gov/media/030639/>)
- Figura 27. Representación original de Newton para distintos lanzamientos (Obtenida en http://www.sil.si.edu/ImageGalaxy/imagegalaxy_imageDetail.cfm?id_image=12003)
- Figura 28. Representación original del cañón de Verne (Obtenida en <http://jv.gilead.org.il/rpaul/De%20la%20terre%20%C3%A0%20la%20lune/>)