

**“IDEAS PARA LA ENSEÑANZA DE UNA HISTORIA DE LA FÍSICA
CONTEXTUALIZADA, METODOLOGÍAS Y SU DIALÉCTICA”**

‘Máster de Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y
Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas’
2014-2015

Especialidad de Física y Química

Universidad de Valladolid



Asignatura: *Trabajo Fin de Máster*

Tutor: *Carlos del Ser Fraile*

Autor: *Ángel Rey Gallego*

A los míos

*“Preguntar la realidad
sin intentar transformarla
eso es pasar por la vida
sin romperla ni mancharla”.*

Chicho Sánchez Ferlosio

“El Ser”¹

¹ De la canción “El Ser”, de Chicho Sánchez Ferlosio, contenida en el disco “A contratiempo”; ver letra en Sánchez Ferlosio (2008, pp. 69-70) y es recomendable consultar **VIII. BIBLIOGRAFÍA VIII.4.3 Otros.**

ÍNDICE

PREFACIO	p. 5
I. INTRODUCCIÓN	6
II. JUSTIFICACIONES	7
II.1 General	7
II.2 Didáctica de las ciencias y contexto	7
II.3 Implicaciones socioeconómicas	9
<u>II.3.1 Economía de la educación y divulgación científica</u>	10
III. MÉTODO CIENTÍFICO	12
III.1 Aspectos generales	12
III.2 Algunas metodologías	14
<u>III.2.1 Razón mecánica vs. Razón dialéctica. Uso de textos</u>	14
<u>III.2.2 Modelos, analogías y metáforas</u>	18
IV. HISTORIA DE LA FÍSICA	21
IV.1 Aspectos generales y bibliografía útil	21
IV.2 Breve panorámica	21
V. ALGUNAS APLICACIONES PRÁCTICAS PARA CONTEXTUALIZAR LA FÍSICA Y SUS MÉTODOS	25
V.1 Método científico en la historia del descubrimiento del Universo	25
<u>V.1.1 Pensar científico y contexto</u>	25
<u>V.1.2 Aplicación a “Cultura Científica” o “CMC”</u>	26
V.2 Algunas analogías y modelos en Física	47
<u>V.2.1 Uso de analogías y modelos. Diseño de una clase: campo gravitatorio</u>	47
V.3 Introducción a la investigación bibliográfica	52
<u>V.3.1 Michelson-Morley y Einstein</u>	52
VI. REFLEXIONES FINALES	54
VII. ANEXOS	55
VII.1 Anexo I: “Cultura Científica”	55
VII.2 Anexo II: “Logícomix”	58
VII.3 Anexo III: “Cosmicómic”	59
VIII. BIBLIOGRAFÍA	61
VIII.1 Libros	61
VIII.2 Artículos , congresos, seminarios	64
VIII.3 Recursos web	69
VIII.4 Películas, cómics y material audiovisual vario. Miscelánea	69
<u>VIII.4.1 Películas</u>	69
<u>VIII.4.2 Cómics</u>	70
<u>VIII.4.3 Otros</u>	70

PREFACIO

Al comenzar el Máster, el Autor tenía la idea de un posible Trabajo Fin de Máster (en adelante, TFM) que reflejara una idea que le rondaba a través de años de lectura de historias y metodologías de la ciencia: «la ciencia antigua no es necesariamente “incorrecta”, sino “aproximativa”; Ptolomeo tenía razón... en su momento y contexto». Como ejemplo, modelos como el ptolemaico podían ser válidos (no siempre, por supuesto) porque mejoraban lo anterior y tenían capacidad predictiva (eclipses, etc.), aunque luego fueran superados por otros (Newton) que a su vez fueron renovados (Einstein)... y lo que venga. También cabe mencionar hipótesis como la del “flogisto” que, aún errónea, tenía su mérito y sus pequeños logros explicativos.

Además, queríamos recuperar un método dialógico-dialéctico –y reivindicar el “diálogo” como técnica divulgativa y de “búsqueda de la verdad”– para acrecentar el conocimiento científico en particular (y humanístico en general) unido a una amplia consulta bibliográfica (incluso diríamos, “vivencia”, pues el Autor mismo considera que “vive rodeado de libros” y confía haber transmitido parte de ese gusto por la letra impresa), así como un enfoque multidisciplinar debido a nuestra –“excesiva”– curiosidad por múltiples temas.

Gracias a las charlas y debates entre Autor (Ángel Rey Gallego) y el Tutor del TFM (Carlos del Ser Fraile) fue fraguándose y concretándose esta idea, pues había que domeñarla. La indicación de Carlos del Ser de la noción de “contexto” unida a la recomendación de leer a Gerald Holton fue clave para conseguir atar un proyecto que se aventuraba demasiado amplio, rompiendo las costuras (y más propio de hipotéticas futuras tesis doctoral o serie de comunicaciones, artículos, etc., que de un TFM de formato limitado).

A ello se le suman las distintas asignaturas del Máster, ya que fue cuajando lo trabajado en ellas, acabando por usar multitud de las técnicas y conocimientos adquiridos durante la redacción de este TFM (aprender a redactar textos académicos con normas rigurosas de citado, investigación, manejo de legislación, experiencia en confección –e impartición, gracias al Prácticum de este Máster en el I.P. “Cristo Rey” de Valladolid– de didácticas concretas, etc.).

Con trabajo, fue emergiendo una posible estructura: 1) fundamentación teórica de diferentes conceptos y métodos, tanto 1a) didácticos como de la propia disciplina de la 1b) epistemología e historia de la Ciencia; para rematar con distintas intervenciones educativas, 2) aplicaciones concretas de las técnicas apuntadas: 2a) uso de textos y métodos interrogativos y dialógico-dialécticos para la enseñanza de “Cultura Científica”, 2b) aplicación de modelos y analogías para contextualizar conceptualmente ideas de la Ciencia Física, y 2c) una propuesta de introducción a la investigación seria, académica, mediante bibliografía y reflexión rigurosa.

Estas aplicaciones antedichas son el núcleo de propuesta de innovación educativa de este TFM, pues el uso de la contextualización (en sentido amplio, abierto y flexible: tanto filosófica, histórica, conceptual, textual, etc.) es conocido, pero menos usado de lo que se creería.

Esperamos que todo esta labor pueda ser aplicada algún día para acostumbrar a grupos de alumnos al manejo de bibliografía y una argumentación sólida, y eso es lo que hemos pretendido con este TFM: enseñar una metodología de trabajo y forma de pensar interdisciplinar que el Autor mismo ha practicado y practica en la vida, un intento de “enseñar y aprender a pensar” mediante el “método científico”² junto a reflexiones multidisciplinarias.

Por último, sería imposible consignar a todas las personas a las que cabría agradecer su acicate, consejos e inspiración para realizar este texto, pero desde aquí nuestra gratitud, y sirva esta mención de reconocimiento a todas, aparezcan o no de forma explícita.

² Recordamos unas inspiradoras palabras de la profesora Elena Charro Huerga (UVa) en una de las clases del presente Máster: “El método científico sirve para educar, (...) que la Ciencia sirva para formar cabezas pensantes”.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del presente TFM se recogen y desarrollan nociones y conceptos para la enseñanza de la Ciencia en general y las Ciencias Físicas en particular. Partiendo de una serie no exhaustiva de justificaciones teóricas, pedagógico-didácticas y metodológicas, etc., junto a una visión general de la *Historia de la Física*, realizamos unos esquemas de intervenciones educativas y aplicaciones posibles de las ideas que manejaremos a lo largo del TFM.

Nuestro propósito es plantear algunas posibles metodologías basadas en la recuperación de la importancia de la contextualización en ciencia, el uso de textos, la diferenciación entre Razón Mecánica y Dialéctica (y revalorización de esta última), unida a otras técnicas explicativas como pueden ser las metáforas o analogías, o una introducción a la investigación académica.

Con estas técnicas se pretende ofrecer recursos pedagógico-didácticos variados para el estudio de las Ciencias y la Física y su historia, y *enseñar a pensar* mediante procedimientos como el “método científico”. Atendemos también a la importancia de una buena cultura científica, no sólo en alumnos con formación en esta área, sino en otros con estudios “de Letras”, evitándoles excesiva carga de fórmulas (sin olvidar que la matematización es necesaria).

Pretendemos además transmitir la *praxis* de composición de este TFM –y los rumbos seguidos– durante su lectura y reflexión, atendiendo a una *dialéctica* entendida en un sentido amplio, en el que las fundamentaciones teóricas y las aplicaciones prácticas se entrelacen de manera que se entrevea una “meta-explicación” de cómo se ha llegado a lo explicado explícitamente (por ejemplo, hacemos un uso intencionadamente abundante de las notas al pie complementarias, etc.). De forma parecida a lo que explica Foley (1989, p. 20) sobre la dialéctica de Karl Marx: *“Marx siempre se esfuerza por poner de manifiesto el proceso dialéctico de transformación crítica de las ideas que caracteriza a todo trabajo teórico fértil. Mientras que muchos autores teóricos ocultan el proceso mediante el cual llegan a la formulación de sus conceptos –un proceso que con seguridad implica la reelaboración dialéctica de los conceptos existentes–, Marx coloca este proceso en primer plano dentro de sus obras”* que *“representa principalmente una cuestión de estilo y presentación”*. Añade Foley (1989, p. 20): *“... la dialéctica en la obra de Marx yace en su comprensión de la naturaleza de la realidad y la naturaleza del conocimiento, La visión de Marx de una realidad que es un proceso contradictorio de cambio en lugar de una organización estática de entidades previamente existentes, ejerce sobre su pensamiento las influencias dialécticas más profundas. En forma similar, Marx acepta como hecho la idea de que el conocimiento humano, como construcción humana, tiene estas mismas características de movimiento y cambio. Estas características del pensamiento de Marx resultan desconcertantes y desorientan a quienes consideran el conocimiento como una colección de verdades que no cambiarán jamás una vez que se han descubierto a revelado”*. Confiamos en haber conseguido una presentación medianamente comprensible, amena y acertada de las rutas intelectuales seguidas en la elaboración del TFM.

Otra figura que se infiltra, de forma soterrada pero inevitable, en este TFM es la de Ludwig Wittgenstein. Su eterno pugilato con la lógica, el lenguaje o la vida misma³; sus angustias, crisis y evoluciones; sus heteróclitas metodología y razonamiento; han sido inspiradoras en la vida del Autor y –seguro que con propias singularidades– influyen en este trabajo⁴.

Existen –y veremos– más fuentes de inspiración, pero, basten resaltar estas dos señeras (para algunos, antitéticas) como inicio de nuestro proceder, que deseamos amplio y desprejuiciado. La propia redacción del TFM no es más que una tentativa –siempre imperfecta e insuficiente, y hasta contradictoria o imprecisa– de reflexión ordenada en voz alta. Allá vamos.

³ Wittgenstein (1988), párrafo 19: *“imaginar un lenguaje significa imaginar una forma de vida”*.

⁴ Para ampliar en Marx y Wittgenstein podemos consultar Crego Díaz (2003 y 2004) o Tomasini Bassols (S.F.).

II. JUSTIFICACIONES

II.1 General

Con este TFM pretendemos aportar un enfoque del estudio de las Ciencias que sirva para que los que estamos inmersos en dicho mundo tengamos una autoconciencia de su importancia y utilidad, y una divulgación de ambos aspectos para el resto de la sociedad, e incidir en sus implicaciones tecnológicas y socioeconómicas. Además de eso, en algo más importante si cabe: la búsqueda científica como una metodología útil –o, más bien, una combinación flexible de metodologías– para cualquier persona de cara a un *buen pensar* (en la que la dialéctica socrática⁵ o el método científico que usaremos son partes de un mismo todo).

En este TFM pretendemos presentar una serie de aplicaciones prácticas –al fin y al cabo éste es un *máster profesionalizante*– de unos planteamientos teóricos que esbozamos al comienzo para fundamentar nuestro proceder. En definitiva, se busca *aprender y enseñar a pensar*. Esto requiere experiencias y lecturas reflexionadas. En la biografía personal del Autor tienen importancia ambos aspectos, ya sea por impartir clases particulares (o cualquier otra experiencia vital que influya) como por el gusto por el consumo de múltiple variedad de libros de distintos géneros, cómics, películas y otros formatos. Este tipo de consumo ha influido mucho en nuestra formación intelectual, interrelacionándose unas fuentes con otras, aspecto que queremos reproducir en un contexto del campo de la “Ciencia, Tecnología y Sociedad” dando la impresión de lo que podemos denominar *sincretismo bibliográfico* que nos resulta fecundo en la búsqueda de cualquier tipo de conocimiento. Recogeremos también algunas ideas de *aprendizaje por proyectos*⁶, puesto que las actividades prácticas que ofrecemos (**V. ALGUNAS APLICACIONES PRÁCTICAS**) se pueden encuadrar en ese marco.

En todo caso, no vamos a circunscribirnos a metodologías demasiado rígidas y sí tener una mentalidad abierta, flexible e innovadora, aún con el riesgo de tomar puntos de vista o proceder demasiado eclécticos o heterodoxos. Las propuestas que desarrollaremos han de ser consideradas complementarias a los planes de estudio y métodos de enseñanza tradicionales – que el Autor defiende por su experiencia personal–, por lo que el “riesgo” antedicho será atenuado por las propias habilidades docentes del profesor responsable, que podrá dosificar adecuadamente los métodos didácticos que se presentan en este TFM.

II.2 Didáctica de las ciencias y contexto

Un planteamiento pedagógico-didáctico que nos sirvió para inspirarnos en un primer momento y el cual vamos a utilizar es el de Franco Mariscal (2007)⁸ que, usando fragmentos de “El ingenioso hidalgo Don Quijote de la Mancha” del universal Miguel de Cervantes, trata de ponernos en “*situaciones cotidianas*” y “*analizarlas desde el punto de vista de los principales conceptos y leyes de la Física y de la Química*” (Franco Mariscal 2007, p. 13) mediante los textos cervantinos antedichos y las diferentes actividades propuestas. Poder consultar este libro nos ha resultado de utilidad para nuestros enfoques en el apartado **V. ALGUNAS APLICACIONES PRÁCTICAS**, si bien buscando una contextualización más concreta en lo histórico y científico. Sumado Franco Mariscal (2007) a libros sobre cuestiones de “*Física Clásica en la Historia*” de Elías Fernández Uría (1982), unido a Koyré (1979) y su selección de textos históricos, y con la

⁵ Elder & Paul (1998): “*Thinking is driven not by answers but by questions*”.

⁶ Sobre la enseñanza por proyectos, consultar La Cueva (2000).

⁷ También sería posible interesar a los alumnos en alguna clase de proyecto de ‘Ciencia Ciudadana’ (*Wikipedia*, “Ciencia ciudadana” y *Wikipedia*, “List of citizen science projects”). [Agradecemos a Miriam Álvarez Doreste por darnos a conocer estos atractivos proyectos colaborativos.]

⁸ Esta obra obtuvo el ‘Segundo Premio Nacional de Innovación Educativa 2006’.

técnica de realizar preguntas de Fernández Uría (1979a y 1982) que ayudan a poner en situación e interiorizar mejor los conceptos, llegamos al método general que esbozamos en este TFM. También contiene muy buenas ideas Baig y Agustench (1990)⁹, y un clásico para visualizar toda esta dinámica de contextualizar y transmitir conceptos científicos mediante preguntas es Lévy-Leblond y Butoli (2003).

Según Chamizo e Izquierdo (2005), *"los conceptos científicos surgen de situaciones problemáticas"*, en una *"situación real a la que se aplican y en la que toman sentido"*, pero la *"visión que se proporciona de la ciencia es dogmática y cerrada"*, lo que hace *"necesario recuperar este carácter dinámico y tentativo de las ciencias mediante actividades específicas"*. Consideramos esta idea clave, un motivo director y una de las metas de este TFM.

Trataremos de buscar un tratamiento para introducir al alumnado al conocimiento científico en un contexto "histórico-sociológico" de la ciencia –además de "filosófico", mediante "escenarios" o cualquier enfoque de utilidad–, usando ideas y experiencia como las de Solbes y Traver (1996 y 2001) o Iparraguirre (2007), mediante uso de textos, y –eventualmente con ellos– cuestiones y preguntas, debates dialógicos, dialécticos y cualquier herramienta que pueda diseñar el profesor. Estas técnicas didácticas pueden ser aplicadas en la docencia de la Física y Química u otras asignaturas de contenido científico que se verán en las siguientes líneas y páginas. No obstante, hay que aclarar que consideramos estos métodos como complementarias a las habituales, como anexo metodológico al aprendizaje convencional. Creemos que la innovación en recursos educativos, debido a lo delicado del "material" con el que trabajamos –el alumnado–, ha de ser cauteloso.

También se tomarán ideas de áreas como la denominada "STEM"¹⁰ en ámbitos anglosajones, asimilable a "CTS" ("Ciencia, Tecnología y Sociedad", CTS¹¹ en adelante), más familiar a nuestra cultura.

Otro libro de Elías Fernández Uría que hemos seguido para estudiar y tomar ideas para una eficaz didáctica de la Ciencia es "Estructura y didáctica de las Ciencias", Fernández Uría (1979b). Es un texto especialmente fructífero e inspirador. Aparte de otros conceptos, nos ha resultado especialmente inspirador para advertir la necesidad de reflejar *"el carácter evolutivo y dinámico de la ciencia"* (p. 71) y su *"carácter acumulativo"* (p. 45) desmitificando visiones *"de naturaleza estática y concluida"* (p. 71). Otra importante idea de Fernández Uría que queremos destacar y que empasta con lo sugerido por Franco Mariscal (2007), es la conveniencia de *"que los libros de texto presentasen algunos de los fracasos y frustraciones de los científicos, y no solamente sus éxitos y descubrimientos positivos"* (Fernández Uría 1979b, p. 73). Algunas de nuestras propuestas van en esta línea, pero sólo un botón de muestra de los jugosos rumbos posibles que nos puede sugerir este texto y otros del mismo autor.

El razonamiento –"mecánico" y "dialéctico"– y aprendizaje tanto "dialógico" como "discursivo" (que se detallarán a lo largo del TFM) servirán para la enseñanza de la Física contextualizada y su "quehacer". Incidiremos especialmente con el abandonado "aprendizaje dialógico" (según Martínez Torres 1999, el "diálogo" es un "género literario olvidado"; nosotros en este TFM queremos aportar un granito de arena para que se sacuda en parte este olvido), sin

⁹ Primer Premio "Francisco Giner de los Ríos a la Innovación Educativa" 1986 del Ministerio de Educación y Ciencia y la Fundación Banco Exterior.

¹⁰ Wikipedia, "STEM": *"STEM es un acrónimo en inglés de science, technology, engineering y mathematics que sirve para designar las disciplinas académicas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas"*. Ver también Wikipedia, "Estudios de ciencia, tecnología y sociedad".

¹¹ Para consultar unas líneas sobre el contexto en que apareció esta disciplina, Alonso, Ayestarán y Ursúa (1996, pp. 50 y ss.), libro que recomendaremos a continuación.

desdeñar aspectos como el “*discurso de aula y argumentación*” (Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante 2003).

Se procurará hacer notar a los estudiantes la importancia del método científico, las metáforas, la dialéctica y diferentes técnicas para promover un *pensamiento científico* en todos los órdenes de la vida (sobre el “*pensamiento científico*” tratado con rigor, ver Bar-Hillel, Bunge, Mostowski, Piaget, Salam, Tondl y Watanabe 1993), así como un conocimiento general del temario propiamente científico y de la Física en concreto.

Los estudios de CTS se preocupan de una integración de dichos tres aspectos –Ciencia, Tecnología y Sociedad– de una forma cohesionada. López Cerezo (1998)¹² puede servir como primera introducción al estado de la cuestión, donde se contemplan diversos programas CTS para la enseñanza de contenidos científico-tecnológicos con “*repercusión social*”¹³. Por no ser muy exhaustivo, algunos textos que se pueden consultar para ampliar el conocimiento sobre este campo son:

- González García, López Cerezo y Luján López (1996), de índole más académica y ordenada, serio y riguroso, aunque precisamente por ello puede resultar poco atractivo en ocasiones.
- Alonso¹⁴, Ayestarán y Ursúa (1996), ecléctico –y por lo tanto rico y variado, aunque puede resultar disperso para una primera aproximación– por la gran cantidad de colaboradores, muy oportuno para consultas rápidas de ciertos temas, aunque con un excesivo sesgo ideológico en algunos de los artículos. Varios capítulos nos han inspirado en múltiples secciones de este TFM.

Los libros con múltiples autores o referencias bibliográficas tienen la ventaja de que podemos ampliar información siguiendo la pista a más trabajos de los autores o sus referencias en bibliotecas, internet u otras búsquedas, que es la metodología que usamos de forma reiterada para culturizarnos en este TFM y en la vida¹⁵.

II.3 Implicaciones socioeconómicas¹⁶

No hace falta ser un “*marxista errático*” (Varoufakis 2013 y 2015) para estudiar e indicar críticas referentes al orden socioeconómico –tanto anterior como posterior a la presente crisis¹⁷– del mundo y la Europa actuales (entre otros, cabe destacar las críticas de Gray 2000 al capitalismo; Bruckner 2003, sobre el utopismo¹⁸ del libre mercado; Judt 2013¹⁹ o Sevilla (2011), sobre la

¹² El número de la revista en que está inserto este artículo es un monográfico de CTS.

¹³ Osorio (2002) habla de los “*injertos CTS*”, para ser aplicados en fragmentados currículos de educación secundaria.

¹⁴ Uno de los coautores del Alonso y Arzoz (2003), que también hemos consultado.

¹⁵ La actividad V.3.1 Michelson-Morley y Einstein puede servir de herramienta para enseñar mínimamente este proceder.

¹⁶ Un complemento a las reflexiones de esta sección son las aportaciones de la nota referida a la “*historia de la tecnología*” y de la “*revolución científica*” de **III.1 Aspectos generales**.

¹⁷ Algunos libros sobre la historia de las crisis son Reinhart y Rogoff (2011) o Kindleberger (2012).

¹⁸ En un mundo como el actual, víctima de la extensión excesiva de la creencia “religiosa” en el libre mercado, consideramos muy aconsejable Polanyi (1997) –que además es la mejor traducción disponible en castellano–, pues diferencia entre “*economía de mercado*” y “*sociedad de mercado*”, lo que ayuda a disolver esta superstición y adquirir posiciones más razonables y ecuánimes. “*Nuestra obsoleta mentalidad de mercado*”, ensayo incluido en Polanyi (2013) es un resumen de estos problemas y preocupaciones. Como curiosidad debemos añadir que el

socialdemocracia ante un mundo torcido; Cassidy 2010, la obra más famosa del ya mencionado Varoufakis 2012²⁰ o Blinder 2014, acerca de la génesis de la crisis financiera²¹ de 2007; Rodrik (2012) se enfrenta a los problemas de la globalización y formula su desalentador trilema: “no podemos perseguir simultáneamente democracia, autodeterminación nacional y globalización económica” (p. 20); sobre la austeridad y sus consecuencias, Stuckler y Basu 2013 analizan y aportan datos sobre su “coste humano” o Blyth 2014 analizando la construcción de esta “idea peligrosa”; sobre desigualdad, Wilkinson y Pickett 2009 para analizar sus consecuencias sociales, su historia con Milanovic 2012 o el controvertido Piketty 2014²² sobre el “proceso de acumulación del patrimonio”; Pisani-Ferry 2012, Martín Seco 2013 o Torreblanca 2014 sobre Europa y la crisis del euro; los economistas Arias 2011, Puig 2013, García y Ruesga 2014 o el sociólogo Sotelo 2014, sobre el caso español; y se podría añadir a “profetas de la crisis”, como Rajan 2011 o Roubini –Roubini y Mihm 2011–; o las entrevistas del periodista Claudi Pérez a Richard Koo, economista jefe del banco de inversión Nomura, Pérez y Koo 2011 y 2015²³)²⁴, pero es indudable la influencia de argumentos económicos²⁵ en la ley de educación vigente en España, la LOMCE, que es el marco en el que nos tenemos que mover. Es patente la preocupación por la relación entre educación y economía, y éstas con la sociedad. Por ello creemos necesario realizar unas pequeñas consideraciones al respecto, con una pequeña “coda” científico-técnica.

II.3.1 Economía de la educación y divulgación científica

En un artículo anterior elaborado durante el propio Máster de Profesorado (2014-2015) de la Universidad de Valladolid, Rey Gallego (2015a), el Autor expone algunas de las diferentes teorías en el campo de la economía de la educación. En dicho artículo hacemos mención a un artículo de Krugman²⁶ (2011) acerca del impacto de la automatización y la globalización en el empleo y la economía, y del libro de Puig (2013) sobre el modelo productivo español. En estos trabajos se constata que la formación en sí misma no tiene un impacto directo tan grande como se pensaba en la búsqueda de empleo (lo tiene –quizá más bien a medio-largo plazo–, pero no siempre tan decisivo como se cree), sino que se requiere un tejido empresarial que la pueda asumir. De estas

hermano de Karl Polanyi, Michael Polanyi, cuya ideología difiere totalmente de la de Karl, fue un filósofo de la ciencia con obras como Polanyi (1961).

¹⁹ Podría adjuntarse Skydelski y Skydelski (2012) sobre la búsqueda de la “buena vida” y el fantástico Gray (2001) sobre la necesidad de un sensato “pluralismo de valores”.

²⁰ La traducción de esta edición es mejorable, pero hasta ahora es la única disponible en castellano. Por otro lado, Costas Lapavitsas, compañero de Yanis Varoufakis en el gobierno de Syriza, tiene propuestas más “audaces” que éste: Lapavitsas (2013).

²¹ Dos propuestas de reforma financiera desde doctrinas económicas bien diferentes son Quero (2014), desde posturas “progresistas” y Huerta de Soto (2011), desde el punto de vista de la Escuela Austríaca de economía.

²² Curiosamente, Varoufakis (2014) atacó sus tesis con un artículo bastante técnico.

²³ Se puede mencionar Flassbeck, Davidson, Galbraith, Koo y Ghosh (2014), donde Richard Koo participa.

²⁴ Queremos agradecer al periodista José García Domínguez y al profesor Rubén Osuna Guerrero –ambos participan en “El Búho” de Radio Siglo XXI– todas sus estimulantes orientaciones y recomendaciones bibliográficas en materia económica, además de en otros campos como la historia o sociología. Para ampliar con visiones económicas en mayor o menor medida heterodoxas tenemos, además de los autores ya mencionados, las recomendaciones concretas de Alfons Barceló (1992 y 1998) o Norberto Emilio García (2010), y Norberto E. García con Santos M. Ruesga Benito como coordinadores de García y Ruesga (2014) –por parte de García Domínguez– y las de Diego Guerrero (1997) o Foley (1989) –por parte de Rubén Osuna–, entre otros. También podría añadirse Ferreira (2015).

²⁵ Basta ver el ‘Preámbulo’ de la LOMCE.

²⁶ Paul Krugman tiene, en coautoría junto a Robin Wells, buenos manuales de economía a nivel universitario.

reflexiones se puede sacar una idea que puede resultar contra-intuitiva respecto a la opinión comúnmente extendida²⁷; además de la postura habitual de tratar de adaptar las titulaciones al mercado laboral, sería importante pensar a la inversa: buscar crear empleos que se ajusten a las titulaciones del mercado laboral.

Pese a todas estas pegadas acerca del matizado impacto de la educación en el empleo, la educación influye en la productividad de un país –como señala Velasco (2014, pp. 278-284)–. Velasco (2014) analiza en su libro algunos de los retos generales de la industria española y, en el caso de la formación requerida por los futuros trabajadores, indica la importancia creciente de la Formación Profesional (FP) por su “*bajo coste y sus salidas laborales*” (p. 282). Aparte, Roberto Velasco resalta²⁸ que “*el número de licenciados en Ciencia e Ingeniería sigue siendo inferior a la media europea*” (Velasco 2014, p. 281).

Uniendo estas posturas se deslizan, a nuestro modo de ver, algunas reflexiones y conclusiones:

- Desde un punto de vista puramente económico, la sociedad española requiere una mayor formación científico-técnica, tanto para ocupar los puestos de trabajo necesarios²⁹ (no necesariamente con titulados universitarios, sino mediante otros estudios como los de FP, crecientes en importancia) como para que haya una valoración social más adecuada de los mismos. Si la valoración de los conocimientos científico-técnicos es más precisa, es razonable pensar que, con tiempo, se pueda formar un tejido empresarial conforme a este tipo de actividad económica³⁰.
- Desde un punto de vista más humanístico, para comprender el mundo actual y ampliar la aspiración humana de acrecentar el conocimiento, aumentar la formación científico-técnica es un bien en sí mismo. Asignaturas como “Ciencias para el Mundo Contemporáneo” (CMC en adelante) o “Cultura Científica” se ocupan de ayudar trasladar al alumnado esta visión, aún a los no interesados de una forma directa en estas disciplinas.

²⁷ Aunque no nos detengamos en ella en este TFM, otra “opinión comúnmente extendida” de fuerte tono socioeconómico y político que sería interesante analizar críticamente es la idoneidad del bilingüismo. Hablan de los efectos negativos del bilingüismo en las notas y rendimiento académico de los alumnos tanto Ruíz Monteleón (2014) como FEDEA (2013). Lo que nos lleva a pensar que habría que replantearse el bilingüismo como algo intrínsecamente beneficioso y quizá buscar un modelo general no bilingüe, aún aumentando el número de horas de la asignatura del idioma inglés (o el que corresponda) para lograr un mejor desempeño sin generar efectos negativos. Una de las quejas que el Autor del TFM ha podido constatar en su experiencia personal es el ralentizamiento del aprendizaje en las asignaturas donde se practica el bilingüismo, así como un aprendizaje limitado de la lengua materna y la bilingüe (un caso real que hemos podido ver es el de un alumno que sabe las partes de la flor –pétalos, sépalos, etc.– en inglés pero no en castellano). En todo hay excepciones, pero las señales de alerta están ahí.

²⁸ Velasco aquí hace uso de una Ponencia de Francisco Michavila, Julián Alonso, Jorge Martínez y Silvia Zamorano (Michavila *et al.*, 2011), donde se trata también el importante problema de la sobrecualificación.

²⁹ Por ejemplo, Díaz Sotero (2015) en el diario “El Mundo” advierte de un déficit de casi un millón de profesionales TIC, donde se requiere un perfil técnico y especializado que no parece encontrarse con facilidad, si bien por el momento a los empleados se les forma en las propias empresas o colaborando éstas en algunos máster.

³⁰ Es necesario consultar Mazzucato (2014) para una visión desmitificadora de los papeles respectivos del Estado y sector privado en la actividad económica, la inversión y el I+D+i.

III. MÉTODO CIENTÍFICO

III.1 Aspectos generales

Con la enseñanza del “método científico”³¹ buscaremos, en último término, *enseñar a pensar*. El elemento epistemológico y de filosofía de la ciencia ha sido de especial importancia en nuestra búsqueda³² de un atisbo de metodologías para lo que llamamos un *buen pensar* científicamente hablando (aún resultando necesario para los no especializados o sin formación científico-técnica, formando ‘Ciencias’ y ‘Letras’ de un todo cultural³³).

Para ello nos podemos ayudar de argumentos y reflexiones desde la Filosofía de la Ciencia. El original y heterodoxo libro de Barceló (1992), aunque trata de Filosofía de la Economía, presenta gran cantidad de planteamientos epistemológicos sobre la ciencia en general. Nos enseña la gran división (p. 24) que hay entre las “*Ciencias Formales*” –lógica y matemáticas, “*por ocuparse de inventar entes formales*”– y las “*Ciencias Factuales*”, que “*son aquellas que se refieren a algún segmento de la realidad*” –las que se pueden considerar experimentales–. Las “*propiedades básicas que debe satisfacer cualquier ciencia factual son la Racionalidad, la Objetividad y la Sistemática*”, que posteriormente detalla (pp. 25-26). Usando ideas y palabras de Bunge (1980), Barceló (1992, p. 26) define al “*método científico*” como “*estrategia*” más que como pasos rígidos a seguir: “*El método no supe al talento, sino que lo ayuda. La persona de talento crea nuevos métodos*³⁴, *no a la inversa*”³⁵.

Antes de entrar en consideraciones metodológicas y epistemológicas mediante la Filosofía de la Ciencia, cabe “*hacer hincapié en la distinción entre ciencia y tecnología. (...) [C]iertas tecnologías no requieren una sólida retaguardia científica*” [pone como ejemplo la agricultura, que no requiere los descubrimientos de Mendel o Darwin, o la navegación marítima, que puede realizarse con la visión ptolemaica sin más honduras; pero llegar a la Luna requiere un salto conceptual mayor: un salto científico, no sólo tecnológico]. *Las tecnologías suelen aparecer antes de la maduración de una ciencia, como pautas de comportamiento o de acción orientadas por hipótesis de bajo nivel; pero en general, o en estadios evolucionados, las tecnologías aplican resultados obtenidos por la ciencia, y, a su vez proporcionan a la investigación pura o básica nuevos datos, nuevos problemas y nuevos instrumentos de trabajo*” (Barceló 1992, p. 68).

Tras estas aclaraciones, vamos a dejar aquí consignados algunos autores y corrientes de la Filosofía de la Ciencia, sin profundizar en exceso –lo dejamos para el lector interesado, mediante la consulta bibliográfica–. Para ello se puede retomar Alonso, Ayestarán y Ursúa (1996) y sus capítulos sobre ‘Pensamiento’ del 9 al 15 (donde resaltamos el capítulo 13 que trata la obra de Thomas S. Kuhn y el 14 la de Paul K. Feyerabend; además, fuera de esta sección de

³¹ Wikipedia, “Método científico”.

³² Queremos agradecer la visión humanística y científica recibida en las clases del dominico Sixto José Castro Rodríguez y del catedrático Alfredo Marcos Martínez, y las charlas, debates y reflexiones sobre Filosofía de la Ciencia –y demás– compartidas con el doctorando Rodrigo Villalobos García y el profesor Miguel Ángel Quintana Paz.

³³ Procurando evitar la ruptura entre las “dos culturas”, Ciencias y Humanidades, de que hablaba Snow (1961).

³⁴ Con las diferentes actividades que vamos a proponer en **V. ALGUNAS APLICACIONES PRÁCTICAS PARA CONTEXTUALIZAR LA FÍSICA Y SUS MÉTODOS** pretenden espolear la imaginación de los alumnos, no sólo absorber conocimiento de los conceptos científico-técnicos.

³⁵ Barceló (1992, p. 25) recoge palabras de Bunge (1980, p. 44).

“Desde el Pensamiento”, está el capítulo 6 (p. 65 y ss.) que analiza la “*historia de la tecnología*” y la “*revolución científica*”³⁶ (por si deseamos ampliar lo esbozado en el párrafo anterior).

A nuestro juicio, los autores más señeros y útiles para una consulta y familiarización sobre Filosofía de la Ciencia y la epistemología³⁷ de la ciencia son Karl R. Popper (1977), Thomas S. Kuhn (1978 y 2006) e Imre Lakatos (1983 y 1987), a los que podemos sumar al muy formal y analítico Bunge y al antes mencionado Paul K. Feyerabend (2002) y su “*epistemología anarquista*”. El capítulo VI (p. 219 y ss.) de Rivadulla (1984) es un buen resumen-comparativa de los enfrentamientos y evoluciones de las teorías del “*falsacionismo ingenuo*” de Popper frente al “*falsacionismo refinado*” de Lakatos y los “*paradigmas*” de Kuhn³⁸; mientras que Bunge (1985) es una de las obras más famosas de Mario Bunge y basta de sobra para ahondar en sus puntos de vista. Hay más filósofos de la ciencia de entidad (como Díez y Moulines 2008; Stegmüller 1967, 1979, 1981 y 1983; o Koyré 1977, 1979 y 1980; entre otros), pero creemos que quizá una revisión de éstos sea suficiente para una buena base general dirigida a la didáctica de las ciencias.

No nos extendemos en reflexionar sobre todas estas obras e ideas, sino que las dejamos para estudio del docente y estudiantes, evitando tomar partido por ninguna de ellas, pero inspirándonos a lo largo del TFM por ellas y el fructífero debate entre todas las posturas.

³⁶ Ver también Lindberg (2002). Sobre el pensamiento renacentista, Kristeller (1986). Y para continuar en el tiempo, de un modo general –no específico para el estudio de las ciencias–, siempre se puede consultar el monumental Barzun (2002). La colección de ensayos Trevor-Roper (2009) sobre diferentes temas en los siglos que siguen al Renacimiento resulta de interés: recordamos con agrado el primero de ellos, “Religión, Reforma y cambio social”, sobre el origen del capitalismo en el catolicismo unido a un errado rumbo de esta religión desde la Contrarreforma –que, simplificando, nosotros concretamos en el Concilio de Trento; sobre Trento se puede consultar Prospero (2008), entre otros muchos–, refutando a Weber; para contextualizar históricamente esta época se puede usar la miniserie “L’età di Cosimo de Medici” (“*L’età di Cosimo de Medici*”, Roberto Rossellini, 1973), y para ver ejemplificado como puede darse un cambio sociológico, la película “La toma del poder por parte de Luis XIV” (“*La prise de pouvoir par Louis XIV*”, Roberto Rossellini, 1966). Por hipotetizar al margen de este TFM, cabría desear estudiar el impacto real de este hecho que narra Trevor-Roper (2009, ensayo I) en los modelos culturales, sociales y económicos entre –simplificando– Europa del Norte y Europa del Sur, que tan diferentes modelos productivos tienen, e incluso incidir en las diferencias entre Norte y Sur incluso dentro del mismo país en países mediterráneos como España e Italia. Gimpel (1981), por su parte, amplía el inicio de la “*revolución industrial*” a la Edad Media y habla de un “*gran ciclo ahora milenar*” (p. 188), pero manifiesta sus dudas comparando a modo de ejemplo los ejes cronológicos de EEUU desde 1850 y la Francia del Medioevo de 1050 (pp. 194-195), prediciendo en una conferencia en Yale en 1956 una “*era de decadencia*” de EEUU para los años 70 –como ocurrió– (pp. 190-191), e hipotetizando que “[s]i bien es cierto que otras potencias occidentales y el Japón han aventajado algo a ciertas industrias americanas, ello no cambia el hecho de que toda la civilización occidental se encamina hacia el fin de su ciclo histórico. ¿Se puede separar de su trayectoria la línea forzosa de la decadencia? ¿Puede una civilización que ha sido eminente entrar en un nuevo ciclo histórico sin adoptar una ideología fundamentalmente diferente? (...) China está en el umbral de un nuevo ciclo que podrá durar más de mil años, pero nuestra civilización está a punto de cerrar un ciclo milenar” (p. 200); recordemos que la edición original del libro es de 1975. [Mencionamos toda esta bibliografía y reflexiones como curiosidad, para contextualizar y por complementar **II.3 Implicaciones socioeconómicas**.]

³⁷ Aunque se pueden consultar muchas más obras y salpicamos nuestro TFM de unas cuantas más. Además, algunas extra de enfoques variados que se podrían añadir son: Geymonat (2002) sobre los límites de la ciencia, el interdisciplinar Cohen (2002) o Zamora Bonilla (2005) sobre metodología de la ciencia, y clásicos como Poincaré (1943), Nagel (1989), Hempel (1996) o Duhem (2003), entre otros muchos.

³⁸ Kuhn incide en la importancia de la persuasión en los debates científicos, y de las diferencias de vocabulario y lenguaje entre los científicos (Rivadulla 1984, p. 225 y ss.). Esto hace pensar en las ladinas estratagemas de Schopenhauer (2011) y el riesgo que supone, lo que a la postre también nos reconduce a Wittgenstein (1975, 1988, 2011 o 2014) y sus análisis filosóficos sobre problemas del lenguajes, etc., especialmente Wittgenstein (1988) y la noción de “*juegos de lenguaje*” y todo lo que implica.

III.2 Algunas metodologías

III.2.1 Razón Mecánica vs. Razón Dialéctica. Uso de textos

Razón Mecánica versus Razón Dialéctica

El término *dialéctica* resulta difícil de definir, “no suele (o no suele ya) designar nada muy preciso” (Ferrater Mora 1994, tomo I: letras A-D, p. 866; acerca del término “*dialéctica*” en pp. 866-877). Podemos empezar consultando el diccionario de la RAE³⁹, de donde podemos sacar una serie de definiciones de dialéctica: “*dialéctica*. (Del lat. dialectica, y este del gr. διαλεκτική). 1. f. Arte de dialogar, argumentar y discutir. 2. f. Método de razonamiento desarrollado a partir de principios. 3. f. Capacidad de afrontar una oposición. 4. f. En un enfrentamiento, apelación a algún tipo de violencia. 5. f. Relación entre opuestos. 6. f. Fil. En la doctrina platónica, proceso intelectual que permite llegar, a través del significado de las palabras, a las realidades trascendentales o ideas del mundo inteligible. 7. f. Fil. En la tradición hegeliana, proceso de transformación en el que dos opuestos, tesis y antítesis, se resuelven en una forma superior o síntesis. 8. f. Fil. Serie ordenada de verdades o teoremas que se desarrolla en la ciencia o en la sucesión y encadenamiento de los hechos.”

Vamos a tomar algunas fuentes más que consideramos ilustrativas de forma medianamente desordenada y heterogénea para profundizar en esta toma de contacto con el término analizado. Haciendo uso –como curiosidad bibliográfica y por ver más ambientes y contextos históricos (España de primeros de siglo XX)– de uno de los “Manuales Gallach”⁴⁰, Opisso (S.F., c. 1930?, p.85), “[d]ase el nombre de Dialéctica a la parte de la Lógica que trata de estructurar el raciocinio y de las leyes a que éste debe sujetarse”, compuesto el “raciocinio” de “otros dos actos del entendimiento; la percepción y el juicio”. Por su parte, Weaver⁴¹ (2008) dice que “[l]a dialéctica ofrece al estudiante la posibilidad de entrenarse en la forja de definiciones, una actividad que obliga a tomar en cuenta obstáculos y contradicciones (...). De hecho, lo que hace el estudiante es entrenarse a pensar (...)” (p. 200); “gracias a ella [la dialéctica] es posible nombrar las cosas” (p. 198). Se podría además consultar Abbagnano (1971), que en su primer capítulo llega a indicar “[c]uatro conceptos de dialéctica” (pp. 11-24)⁴².

Con este somero vistazo a las definiciones del término, verificamos dos utilidades que nos interesan para este TFM: 1) la dialéctica como técnica o conjunto de técnicas para estructurar la Razón entre las que estaría 2) el diálogo y la discusión argumentada (con la

³⁹ Web RAE: <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=dial%E9ctica>

⁴⁰ Sánchez Vigil y Olivera Zaldúa (2013) sobre la editorial Gallach. Un libro que consideramos aún práctico y útil de la serie ‘Gallach’ es Rubió y Bellvé (1932), sobre el “*arte de estudiar*”.

⁴¹ Richard M. Weaver (2008) es un autor conservador en batalla contra los “manipuladores del lenguaje”. Como curiosidad, diremos que culpa a Guillermo de Occam (p. 13 y ss.) de un cambio en la “*idea que de la realidad se hacía el hombre en aquella coyuntura de la historia. Fue Occam quien propugnó la ominosa doctrina del nominalismo, la cual niega que los universales estén dotados de existencia real*” (p.13). “*El resultado tangible de la filosofía nominalista es la abolición de la realidad que el intelecto percibe y la postulación de otra que es sólo producto de la percepción sensorial*” (p. 13). Desde nuestro punto de vista, esto precisamente supone un inicio de la idea de ‘Ciencia’, por lo que no podemos estarle más agradecidos. “*El Renacimiento fue adaptando sus programas de estudio a fin de producir a un hombre que fuera capaz de triunfar en el mundo*” (p. 18); pese a los inconvenientes que pueda tener esto, reiteramos nuestro reconocimiento a Occam (Ockham según otras grafías) por evitar que una supuesta “claridad” o sencillez forzada de ideas aparte de la compleja realidad. No obstante, es interesante indicar aquí la necesidad de leer a autores de diferentes corrientes filosóficas, ideológicas y doctrinales, pues incluso en la disensión se pueden nutrir nuestro propio entendimiento y razonamientos. Sirva esto como llamada a evitar sectarismos.

⁴² A saber: “1. *La dialéctica como método de la división*”, 2. “*como lógica de lo probable*”, 3. “*como lógica*” y 4. “*como síntesis de opuestos*” (Abbagnano 1971, pp. 11-24).

posibilidad de un enfrentamiento entre opuestos). Tierno Galván (1969)⁴³ nos puede servir para distinguir dos estilos de razonamiento que se entrelazan en estas definiciones, aunque Tierno los distancie y confronte.

Mediante la *dialéctica* buscamos ciertos métodos para razonar, para lo que podemos llamar *enseñar a pensar* a los alumnos. Por ejemplo, Umberto Eco (1995)⁴⁴ dice de Marx que *“aprendió a pensar con los filósofos griegos”* (p. 25). De ahí la importancia que vamos a dar a la dialéctica, incidiendo tanto en las técnicas dialógicas –lo que Tierno (1969) más bien llama *“Razón dialéctica”*– de corte socrático, como también las más discursivas –*“Razón mecánica”*, para Tierno (1969)–, para *“enseñar a pensar”* mediante *“pensar la ciencia”*, entendiendo el método dialéctico de forma amplia, flexible y ecléctico.

Rodríguez Cascante (2002) analiza las *“propuestas relativas al pensamiento dialógico”* (p. 1) de Enrique Tierno Galván y de Mijaíl Bajtín. Tierno Galván *“plantea una distinción entre el pensamiento mecánico y el pensamiento dialéctico, a partir de la cual establece la existencia de épocas mecanicistas y épocas dialogantes”* (p. 1). *“La distinción dialéctica-mecánica tiene correspondencias con las nociones de diálogo y monólogo”* (p. 1). Según Tierno (1969), las épocas anteriores, *“mecanicistas”* y *“dialogantes”*, se alternan hasta que *“Tierno Galván da por concluidas las épocas dialogantes en el Romanticismo”* (Rodríguez Cascante 2002, p. 1). Esta alternancia se puede ver entre la Edad Media, con su *“incapacidad (...) para el diálogo”* (Tierno 1969, p. 28) y el Renacimiento, *“la gran época dialogante y dialógica”* (Tierno 1969, p. 33), ya que *“el diálogo es una forma muerta hasta llegar a Petrarca”* (Tierno 1969, p. 32).

Y añade: *“Hay alguna excepción [en la Edad Media], pero el soliloquio, que suele ser un diálogo del alma con Dios más que con uno mismo, y las cartas, se utilizaron con preferencia al diálogo en cuanto forma de la necesidad de una conversación directa”* (Tierno 1969, p. 28). Recuperando esta tradición, en nuestro TFM haremos uso de múltiples textos, entre los que el uso de diálogos, cartas o discursos, entre otros, serán habituales, tanto para expresar los conceptos como para contextualizar.

Llegamos a –según Tierno Galván– una incompatibilidad: *“la ciencia, mucha o poca, que existe en la Edad Media se desarrolla y perfecciona en el Renacimiento”*, pero *“[e]l desarrollo del conocimiento científico acabó por hacer dialécticamente incompatibles diálogo y ciencia”* (Tierno 1969, p. 35), a lo que podemos sumar que *“[e]l diálogo renacentista manifiesta el cambio social hacia una nueva estratificación”* (p. 96).

Ejemplifica esta crisis afirmando en Tierno (1969) que *“[l]a estructura de la obra dialogada de Galileo resulta literariamente muy pobre. Los elementos conversacionales son casi nulos o de poco efecto”* (p. 77). *“Los interlocutores de Galileo no pasan de ser interlocutores, no llegan a ser protagonistas”* (p. 78). Estas impresiones pueden contraponerse con Antonio Beltrán Marí, que en su ‘Introducción’ al *“Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo”*, dice en Galilei (2011, p. LXI) que Galileo Galilei *“concibió su Diálogo como una ópera al estilo Rossini”*, con los *“crescendo» rossinianos”* y una presentación y estructura adecuada en las diferentes *“escenas”* y *“actos”*.

Tierno Galván (1969) insiste en que el diálogo⁴⁵ para convertirse en un *“instrumento de divulgación”*, del que Berkeley y Fontenelle son *“[d]os ejemplos máximos”* (p. 81). *“El diálogo es*

⁴³ Conocemos esta obra gracias a la lectura de Abellán (1971, pp. 205-211), del que aprovechamos para recomendar también su Abellán (1996), una *“historia del pensamiento español”*.

⁴⁴ Nosotros no seguimos precisamente todos los criterios de Umberto Eco (1995) para realizar una tesis según los que propone. Aparte de las diferencias sociológicas, metodológicas o de otros tipos que tenemos con él, buscamos una mayor aplicación práctica, no sólo académica. No obstante, es un autor que *enseña a pensar*.

⁴⁵ Consultar Ferrater Mora (1994, tomo I: letras A-d, pp. 877-879) para leer sobre diferentes reflexiones sobre el *“diálogo”*.

propiamente diálogo (...) cuando expresa el proceso de la sociedad en situación de fluidez, participación, apertura y conciencia de la realización en el devenir” (p. 83). También podemos recordar aquí la figura de Goethe en que “*hay un conato explícito de intentar subsumir la razón mecánica en la inteligencia dialogante o dialéctica*” (p. 123) o la de Hegel, que supone –para Tierno Galván– “*el último estéril esfuerzo por conseguir la unidad de la teoría mecánica con la expresión literaria de la realidad*” (p. 121).

Concluye Tierno (1969): “*Ni a título de ejemplo metódico cabe comparar el diálogo medieval con la expresión de diálogo no dialógico en las obras que consideramos representativas de la sociedad moderna. La relación de convivencia tiene los canales establecidos y el lenguaje establecido: La supresión de la sorpresa ha convertido la sorpresa en algo también convencional.*” (p. 241).

Nos parece adecuado recordar que en Piaget y Beth (1961) se reproduce de alguna manera el conflicto entre Razón mecánica y dialéctica, pues Piaget afirma que “*la formalización está orientada a la demostración*” y “*obligada a proceder por orden de sucesión (...), de forma lineal*”, mientras que “[e]l pensamiento natural, por el contrario, comienza in medias res y tiene por función inventar (...), ampliar el sistema de los conocimientos adquiridos” (p. 343). Existen, “*en conclusión, [unos] límites intrínsecos de la formalización*” (p. 345). Tierno (1969), por su parte, defiende “[q]ue a determinado nivel el método científico no tolera el método literario. No son intercambiables ni cambiables” (p. 77). Creemos que Piaget y Beth (1961) podrían estar parcialmente de acuerdo con ello (lógica y psicología son “autónomas”, pero “se complementan”, p. 384), con matices inevitables. Procuraremos introducir algunos a continuación.

Además, la “*estratificación social*” tiene gran importancia para la aparición del “*diálogo moderno*”: “*Hasta que no se inicie un cambio que altere la relación rígida entre «status», obediencia y opinión, el diálogo moderno no puede aparecer ni desarrollarse*” (Tierno 1969, p. 28). Esta reflexión será crucial para el “*aprendizaje dialógico*”, que estudiaremos mediante Aubert, Flecha, García, Flecha y Racionero (2010).

Nosotros, al menos para propósitos pedagógicos y didácticos, debemos discrepar o, al menos, matizar todas estas reflexiones. Rodríguez Cascante (2002) también disiente: “*toda convivencia social, toda cultura posee espacios de diálogo, aunque no sea el ideograma cultural predominante la dialogía*” (p. 18). Pensemos por ejemplo en lo extendidas que están las entrevistas en prensa para extender y divulgar ideas (aparte del uso propagandístico que puedan tener).

Tal y como dijo arriba Tierno (1969, p. 28), la “*estratificación social*”⁴⁶ es crítica. Al igual que antes, retomando la idea de “*alternancia*” entre periodos mecanicistas y dialogantes, podría ocurrir que el dialogismo no fuera un periodo concluido en el Romanticismo, sino sólo un “*ciclo histórico*” (las notas sobre la “*historia de la tecnología*” y la “*revolución científica*” del apartado **III.1 Aspectos generales** pueden ser vistas como líneas de investigación hipotéticas). Aubert, Flecha, García, Flecha y Racionero (2010) nos hablan de un reciente “*giro dialógico*” (p. 29 y ss.) en la sociedad que a nuestro modo de ver refutaría las conclusiones de Tierno (1969) referentes a la muerte de la Razón dialéctica (mientras que podría reforzar su hipótesis cíclica y de

⁴⁶ Algunos autores que conviene leer para un análisis riguroso de la “*estructura social*” de nuestro país, España, son José Saturnino Martínez García (2013), que opina muy significativamente sobre las “*clases sociales*” que “*crear no creo, pero haberlas, haylas*”; o aplicado a cuestiones educativas, Jorge Calero (2008); o estudiando la “*movilidad intergeneracional*” –aunque tiene unos años–, Julio Carabaña Morales (1999), del que además aconsejamos Carabaña (2010) o también González Enríquez (2013), para conocer un dato poco conocido por el público: nuestro título de ESO es demasiado difícil de obtener comparado con la media europea, por lo que nuestro tan llorado “*fracaso escolar*” es “*engañoso*”, incidiendo negativamente todo esto en el acceso a la Formación Profesional (aunque ideas como la Formación Profesional Básica pretendan paliarlo). Todo esto, aunque durante la reflexión y redacción de nuestras ideas haya derivado aquí, bien podría encajar como anexo a la **sección II.3 Implicaciones socioeconómicas**.

alternancia entre periodos “mecánicos” y “dialogantes”). La “pluralidad de opciones⁴⁷ nos conduce a ser cada vez más reflexivos y reflexivas, de forma que la reflexión y el diálogo del siglo XXI están sustituyendo la autoridad⁴⁸ de los siglos XIX y XX” (Aubert, Flecha, García, Flecha y Racionero 2010, p. 215), que justo podemos ver coincidente con el periodo del Romanticismo que enunciaba Tierno (1969).

Aubert, Flecha, García, Flecha y Racionero (2010) es un muy buen tomo, recopilando las diferentes teorías de forma amena y actualizado para consultar y aprender sobre “aprendizaje dialógico”, fundamental debido a la “tendencia dialógica de nuestras sociedades” (p. 31) que, como opinamos, refuta en parte de Tierno (1969). Contrapone el “aprendizaje dialógico” con la “enseñanza tradicional” (pp. 116 y ss.), y supone que “dialogar es llegar a acuerdos, no para imponer nuestra opinión basándonos en nuestra posición de poder o calculando estratégicamente cómo llevar la otra persona a nuestro terreno” –además, el diálogo⁴⁹ “no podemos confundirlo con charla (en el sentido de “hablar por hablar”)” (p. 172)–.

Recomendamos la lectura atenta de Aubert, Flecha, García, Flecha y Racionero (2010) al docente, pues podrá encontrar nuevas perspectivas en el “aprendizaje dialógico” y sus “siete principios” (Parte II, pp. 163-235).

Aunque no específicas para los niveles de Secundaria y Bachillerato, otras lecturas que se pueden consultar son García Montero (S.F.a y S.F.b) sobre el diálogo como instrumento “crítico-reflexivo” que puede servir para la “transformación educativa”; aún refiriéndose a Ciencias sociales, Jevey Vázquez y Leyva Rúa (2013) resulta de interés; así como Larraín y Freire (2012) sobre la “argumentación en enseñanza de ciencias”.

⁴⁷ Recogeremos aquí algunos interesantes textos de Gray (2001) relacionados con el “pluralismo de valores”: Primeramente, una líneas que sugieren que “la idea de perfección dinamita la idea de Dios” y vienen recogidas y comentadas en Rey Gallego (2014b): “Los conflictos de valor provienen de necesidades contradictorias de nuestra común naturaleza humana. Cierta clase de escasez moral está incorporada a la materia de la vida humana. Ningún humano puede ser perfecto porque las necesidades humanas son contradictorias. Esto no significa que la vida humana sea imperfecta, sino que la idea de perfección no tiene significado. La idea de unos valores en conflicto en inconmensurables está lejos de la concepción agustiniana de que todas las cosas humanas son imperfectas. San Agustín contrastó la imperfección del mundo humano con la perfección del divino. En cambio, la rivalidad entre valores inconmensurables destruye la propia noción de perfección” (p. 20). También añadimos un par de párrafos acerca de los derechos sobre los que deberíamos reflexionar: “Los derechos son conclusiones, no fundamentos. Las reivindicaciones de derechos son los productos finales de unas largas y complicadas cadenas de razonamiento. Cuando nuestras concepciones sobre los intereses humanos divergen, también divergen nuestras concepciones sobre los derechos. Las filosofías políticas que sostienen que los derechos son fundamentales dejan de lado estos conflictos de valor. Sin embargo, al ser endémicos en la vida política, los conflictos de valor resurgen en las disputas sobre los derechos que poseemos” (Gray 2001, p. 101). Y además: “Los derechos humanos no son verdades inmutables, absolutas morales autónomas cuyos contenidos resultan evidentes. Son convenciones cuyos contenidos cambian a medida que cambian las circunstancias y los intereses humanos. Deberían entenderse no como la Constitución de un régimen universal, liberal u otro, sino más bien como unos estándares mínimos de legitimidad política que deben aplicarse a todos los regímenes” (Gray, p. 124).

⁴⁸ Nosotros, a raíz del Prácticum, pensamos que el profesor toma decisiones “políticas”. El profesor tiene que, sobre la marcha y día a día, tomar decisiones que en realidad implican una “política educativa”: ¿ayudar más al que va rezagado o explicar una cosa nueva a alguien con un rendimiento académico ya alto de por sí? ¿Y un alumno que sólo “calienta la silla”? A los alumnos indolentes se les puede hacer que aprendan un concepto, pero a cambio de dejar de ayudar a otro –uno rezagado que se esfuerza o cualquier otro caso– porque las horas son limitadas. Son decisiones entre “valores inconmensurables” (como diría John Gray 2001) que acaba teniendo que tomar el profesor individualmente y que al Autor le ha sucedido en la práctica.

⁴⁹ Según el original físico David Bohm, que tiene un sugerente libro “[s]obre el “diálogo”, aclara que, a diferencia de la “discusión”, “[e]l espíritu del diálogo (...) es totalmente diferente porque, en él, nadie trata de ganar y, si alguien gana, todo el mundo sale ganando” (Bohm 1997, p. 30).

Uso de textos

Como hemos visto arriba, para la contextualización puede resultarnos de gran utilidad el uso de textos. García Montero (S.F.b) nos dice que se puede concebir el diálogo “como vía para transformar los modos en que son presentadas las materias escolares. En tal sentido, se vinculan al trabajo con los textos y otros materiales para el aprendizaje. ¿Cómo se emplea el diálogo para este fin? En primer lugar implica una manera distinta de operar con los textos. No se trata de leer pasivamente lo que en ellos está escrito y repetir su contenido. Se trata, por el contrario, de entrar en un diálogo con él. El objetivo es que el niño interactúe con el texto, dialogue con su autor desde una posición activa y problematizadora. Este propósito coloca en manos de los aprendices la posibilidad de cuestionar lo escrito, realizar sus propios comentarios, hacerse nuevas preguntas para investigar y buscar nuevos conocimientos e incluso asumir posiciones contrarias al autor. Constituye una vía valiosa para que se sientan motivados y se involucren con todo su intelecto⁵⁰. Tal tipo de diálogo pueden llevarlo a cabo también con láminas, diagramas, entre otros elementos que les ofrezca el libro”. Esta técnica puede revelarse eficaz para su uso con alumnos de Secundaria y Bachillerato en asignaturas como CMC.

Nosotros pretendemos contextualizar conceptual e históricamente ciertos aspectos de la Ciencia y, en concreto, la Física y su método. En la aplicación práctica **V.1 Método científico en la historia del descubrimiento del Universo** se explota especialmente la metodología propuesta de contextualizar usando textos y películas.

Se pueden utilizar múltiples textos para leer, contextualizar o motivar –y hacer más amena la materia– y comentar: tanto dialogados (siguiendo la tradición de “Platón, San Agustín, Cicerón, Galileo, Berkeley, Hume y, por supuesto, Sócrates”; Ferrater Mora 1994, tomo I: letras A-D, p. 877) como más discursivos para luego debatir acerca de ellos. Se pueden añadir ejemplos de textos más o menos discursivos pero a la vez amenos, como el epistolar (tenemos el ejemplo de Euler 1990); o la tradición de los “catecismos”, mediante preguntas y respuestas (como el “Catecismo Positivista” de Auguste Comte –que no hemos usado explícitamente en este TFM–); o literatura de ciencia ficción complementada con ensayo, donde Preiss (1989) puede servir de ejemplo; etc.

En resumen, aunque existan diferencias entre la Razón Mecánica (considerada “discursiva”) y la Razón Dialéctica (tomada en un sentido “dialógico”), nosotros somos menos tajantes que Tierno Galván como para hablar de su final y usaremos técnicas dialógicas para explicar los conceptos, métodos e historia de la Ciencia en general y Física en particular.

III.2.2 Modelos, analogías y metáforas

La mente humana no maneja bien conceptos abstractos, por lo que el uso de *modelos, analogías y metáforas* (para distinguir entre los términos remitimos a Raviolo 2009) es habitual en las ciencias, si no insoslayable, y desde luego imprescindible a la hora de realizar tareas de divulgación científica.

Wheen (2007, p. 101) nos dice que “[L]a función de la metáfora consiste en hacernos contemplar algo de nuevo transfiriendo sus cualidades a algo distinto, convirtiendo lo familiar en lo extraño, o viceversa”. La *metáfora*, por tanto y según nos sugiere la reflexión anterior, sirve para ilustrar conceptos que, aparentemente, no son evidentes en sí mismos.

⁵⁰ Además, se sabe que “el número de libros en el hogar es un buen predictor del rendimiento en las tres áreas evaluadas” en las pruebas PISA (INEE 2013, p. 96), por lo que el uso de textos puede acostumbrar y dotar de gusto por la lectura y hacer que los libros sean algo familiar en la vida del estudiante, lo que llevaría a esperar un aumento del rendimiento académico.

Pero hemos de ser cautos y no abusar de los conceptos contra-intuitivos en la enseñanza de las ciencias. Como aconseja Gérard Vergnaud en el 'Prefacio' de Moreira, Caballero y Vergnaud (2009, p. 21), *"no se puede esperar que los alumnos aprendan si se les proponen solamente situaciones difíciles de comprender. Es necesario además que sientan crecer su dominio y que se les ayude, proponiéndoles también situaciones que no sean contra-intuitivas"*. Obviamente, el profesor aquí juega un papel crucial, puesto que es él quien mejor puede valorar la recepción de los conceptos y razonamientos entre el alumnado. Sirva este pequeño consejo como advertencia, pese al enorme poder de lo contra-intuitivo como herramienta pedagógica (el "choque cognitivo" del alumno puede ayudarle a comprender la materia o interesarse por ella).

Guzmán (2012) indica la importancia de las metáforas y analogías en ciencia (p. 166, donde menciona trabajos de Gerald Holton) y que ayudan a su comprensión, ya que no bastan la lógica y la información empírica, sino enmarcarlo todo en un modelo explicativo. Además, las metáforas son esenciales para transmitir la idea general de los conceptos y modelos científicos a una población no tan familiarizada con el manejo del lenguaje y razonar científico.

Acevedo (2004) estudia las analogías⁵¹ en el caso de la teoría del campo electromagnético, pero en la introducción de este trabajo nos recoge en unas pocas líneas una posible *definición de analogía* y su funcionamiento: *"Las personas usamos analogías – comparaciones entre entidades que consideramos similares en algún sentido– en la vida cotidiana cuando queremos comunicar nuestras ideas sobre temas que nos son menos familiares; para ello solemos recurrir a otros referentes mejor conocidos y que nos parecen semejantes al menos en los aspectos que queremos expresar"*. Obviamente, esto es sumamente útil y un recurso reiterado en la enseñanza de las ciencias, independientemente del nivel o la profundidad a la que se quieran impartir.

Tanto Oliva (2004) como Raviolo, Aguilar, Ramírez y López (2011) estudian los rasgos y características de la enseñanza por analogías, incidiendo en su utilidad didáctica, aunque admitiendo *"fallos y limitaciones"* (Oliva 2004, p. 378) además de *"riesgos y dificultades"* (Oliva 2006). La analogía resulta un *"elemento recurrente"*⁵² (Oliva 2004, p. 380), *"capaz de gestarse y evolucionar con el tiempo a la vez que lo hace también el modelo analógico que lleva implícito"* (Oliva 2004, p. 373). También Raviolo, Aguilar, Ramírez y López (2011) insisten en que *"el modelo"*⁵³ *no es definitivo porque lo que se modela cambia constantemente con el paso del tiempo"* (Raviolo, Aguilar, Ramírez y López 2011, p. 69).

Tomando los aspectos que más nos interesan a nivel didáctico, Mesa Oramas (2013) nos indica que la analogía ahorra tiempo de estudio y *"facilita la difusión del conocimiento"* científico, incidiendo en la necesidad de que la analogía sea *"coherente"* y ayude a *"predecir"* el comportamiento del fenómeno⁵⁴. Se busca, por tanto, comprensión y una herramienta para la

⁵¹ Una tesis sobre *"analogías en el proceso enseñanza – aprendizaje"* es González González (2002).

⁵² Es interesante resaltar aquí las palabras de Reyes Barcos (2008): *"Al analizar los registros del indicador momento de utilizar las analogías, los profesores consideran que las analogías deben ser utilizadas en el transcurso de las clases, una vez que los alumnos han comprendido el objetivo, alegan que al principio o fin del desarrollo de las mismas, es inconveniente su uso pues ello se puede prestar a malas interpretaciones y dar origen a errores conceptuales. Cabe acotar que en las observaciones de los investigadores se presenta incoherencia con lo declarado por los profesores pues se observó que las utilizan indistintamente al inicio, durante el desarrollo o al final de las clases."*

⁵³ Sobre *"modelos"* en la *"enseñanza de las ciencias"* se aconseja consultar Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) o Chamizo Guerrero (2010). Sobre la diferencia entre *"modelos mentales"* y *"modelos conceptuales"*, acudir a Moreira, Greca y Rodríguez Palmero (2002). Según Blank (2001), *"modelos y metáforas"* son *"rodeos"*.

⁵⁴ Las analogías han de ser útiles y visuales, no parecerse siempre necesariamente a la realidad. Un ejemplo es Andrade e Silva y Lochak (1969, pp. 124-128), donde realizan una analogía entre estantes de libros y una reglas que los ordenan para aprender la noción abstracta de *"operador"* que se usa en Física Cuántica.

divulgación científica que, como veremos más adelante en el presente trabajo, es uno de los objetivos de asignaturas como “Cultura Científica” o “Ciencias para el Mundo Contemporáneo”.

Aún así, se puede achacar a las analogías y metáforas cierta desconexión con la realidad, pero Acevedo (2004) nos pone sobre la pista de palabras de Boltzmann (1982) que matizan y colocan en su justo término de utilidad a las analogías. Ludwig Boltzmann (1982, pp. 53-55) nos habla de las “*analogías mecánicas*” que usaba Maxwell para explicar su teoría electromagnética entre otras, pese a las críticas recibidas por estas –tal y como las llamaba Maxwell⁵⁵– “*ilustraciones dinámicas*”. Las “*analogías mecánicas*” se fueron imponiendo hasta llegar a “*fundar una doctrina según la cual el conocimiento mismo no es otra cosa que el hallazgo de analogías*” (Boltzmann 1982, p. 54). “*No podemos reprochar a una mera analogía que cojee en algunos aspectos*” y se llega a abandonar “*la congruencia absoluta con la naturaleza, destacando claramente los puntos de semejanza*” (Boltzmann 1982, p. 54).

El ejemplo anterior sirve para ver el papel de las analogías para situarlas en el contexto científico de cada época. Holton (1979, p. 269) dice que un científico “*de final del siglo XVII (...) llegaría a la siguiente conclusión: las únicas herramientas para la comprensión de los fenómenos físicos son imágenes, alusiones y analogías relativas a los fenómenos mecánicos de la vida corriente*”. Las analogías usadas sirven para contextualizar la época, por eso veremos algunos ejemplos en **V.2 Algunas analogías en Física**.

Woodcock y Davis (2012, p. 14 y ss.) recogen el conflicto entre Paul Dirac y René Thom, donde el primero insiste en la importancia de la formulación de “*leyes*”⁵⁶ en la investigación de la ciencia física, minimizando importancia de la posibilidad de manejar “*imágenes*” para comprenderlas mejor; mientras el segundo –Thom– “*crea que la provisión de algún tipo de imagen, al menos para el ojo de la mente, es de primordial importancia*” (Woodcock y Davis, 2012, p. 17). En esta rivalidad se ve patente la necesidad del uso de analogías para divulgar a nivel popular conceptos abstractos de cierta complejidad, pese a que haya mentes privilegiadas que puedan aprehender determinadas ideas de forma sencilla o, incluso, evidente para ellos.

Una obra de interés para el docente de cara al manejo y adquisición de “*ejemplos, imágenes y analogías –metáforas, al fin–*” (Alemañ 1998a, p. 10) es “*Grandes Metáforas de la Física*” de Rafael Andrés Alemañ Berenguer. Toma una serie de ejemplos y teorías científicas de la Historia de la Física y analiza y desarrolla en detalle las algunas metáforas científicas (incidiendo en las más recientes, pues las anteriores en el tiempo están más difundidas), sirviendo para una comprensión más clara para el docente o alumno y lograr una mejor divulgación científica. Recomendamos también Aubusson, Harrisson y Ritchie (2006).

Conviene reseñar los trabajos de Godoy (2002), donde trata la “*estructura*” y “*funciones de las analogías*”, mientras que su estudio como “*estrategia didáctica*” se recoge en otros trabajos como los de Fracaro y Perales (2013), aparte de los ya mencionados. Todos estos trabajos pueden ser de utilidad para el docente, aparte de mostrar diferentes ejemplos y mecanismos de esta metodología.

Hemos podido constatar que el uso de *modelos, analogías y metáforas* es habitual en la investigación científica y son cambiantes según el ambiente histórico, social, etc., por lo que pueden ser usadas para ayudar a contextualizar la Física de una época o rama determinadas. Son además una herramienta eficaz en la enseñanza de la ciencia, y absolutamente necesaria en la divulgación científica. Se presta además a emplearse con bastante naturalidad en variedad de marcos de aprendizaje, como el *dialógico* o *dialéctico*, el *mecánico* u otros posibles.

⁵⁵ Otro artículo de interés sobre Maxwell y las analogías es el de Cachón Guillén (2013).

⁵⁶ Feynman (1986) estudia elegantemente “*el carácter de la ley física*”. Aunque no nos detenemos en este TFM, el concepto de “*ley*” es un tema amplio y apasionante.

IV. HISTORIA DE LA FÍSICA

IV.1 Aspectos generales y bibliografía útil

El Hombre siempre ha tenido una aspiración por conocer e ir aumentando su conocimiento del mundo. Las formas diversas de obtener ese conocimiento son variadas, pero proponemos dos grandes grupos diferenciados: las artes y las ciencias⁵⁷. La división es moderna, pero nos sirve para redactar un relato al respecto.

Para plantear el panorama de la Historia de la Física vamos a seguir en términos generales una serie de autores que pueden ser útiles para esta aproximación y para la posible consulta por parte de profesores e incluso alumnos. Los describimos a continuación:

- Udías Vallina (2004) es un libro donde se presenta sólida y detalladamente la disciplina de la Historia de la Física; de una forma concreta, no desde el bastante común y generalista de una Historia de las Ciencias. Muy detallado y documentado sin llegar a ser recargado. Aunque naturalmente se tratan los conceptos científicos, el punto de vista es manifiestamente histórico.
- Gamow (1980) es un clásico. Su tono es didáctico sin perder de vista el rigor. La presentación de los conceptos e ideas científicas es su fuerte, complementando a Udías (2004).
- Para una visión más contextualizada de la Física siempre es de gran utilidad seguir al competente y original Gerald Holton. La consulta de Holton (1979) ordena el marco del tema a tratar logrando empastar la vertiente histórica que nos da Udías (2004) con la conceptual de George Gamow (1980). Un texto más específico y avanzado sería Roller y Holton (1963), que viene bien tener en cuenta.

Hay muchos más libros, pero como este TFM pretende dar herramientas docentes para el aprendizaje de la Física, métodos y contexto, consideramos que son un buen “tríptico” –de enfoques variados y complementarios– para una inicial aproximación. Existen y son fácilmente localizables multitud de bibliografías con material valioso disponible en el caso de que el lector quiera profundizar en el área de la Historia de la Física; mismamente la propia **VIII. Bibliografía** que aportamos puede servir para ir “tirando del hilo” y proseguir el estudio de este vasto campo –inabarcable en una aproximación puramente instrumental como pretendemos–.

IV.2 Breve panorámica

Procederemos a realizar recomendar autores para dar un repaso general a la Historia de la Física.

No pretendemos en esta sección IV.2 del TFM presentar un compendio⁵⁸ ordenado y balanceado de los diferentes físicos, ideas físicas y modelos astronómicos existentes en la historia (ni mucho menos con ánimo de exhaustividad), sino resaltar rápidamente diferencias contextuales de los mismos mediante comparaciones, modelos y analogías conformando un relato manejable pero de cierto rigor que aporte cierto orden mental. Entiéndase que

⁵⁷ Algunas panorámicas de la ciencia “en general” (no sólo la Física) que se pueden manejar son Asimov (1979), García Barreno (2001) y Comellas (2007); entre otras, como tantas veces en este TFM de temática tan amplia.

⁵⁸ Este vistazo general a la Historia de la Física (con especial atención a la Astronomía) se puede usar en la práctica en clases de Secundaria o Bachillerato para ayudarnos a hacer ciertas reflexiones en voz alta y comparaciones rápidas entre distintos modelos científicos durante una narración –voluntariamente simplificada– de esta historia.

desarrollaremos⁵⁹ a continuación este objetivo como una narración en voz alta de una serie de pensamientos que, si bien pueden ser deslavazados cronológicamente –o mal graduados en importancia o cualquier otro aspecto–, presenten de una forma más clara y didáctica la idea fuerza: los diferentes autores, ideas y modelos influyen (diríamos que bidireccionalmente) en la contextualización científica, y su estudio nos puede ayudar a conocer el contexto y a asimilar mejor los conceptos y métodos científicos.

A continuación podremos seguir, además de los libros indicados en el apartado anterior (especialmente Udías Vallina 2004), obras como Trebeschi (1977) o Carreira (1993)⁶⁰. Concretamente éste último, Carreira (1993, p. 137-150), en el ‘Apéndice III’, tiene una “*Introducción histórica del desarrollo de las ciencias*” que nos será una fuente enormemente útil y de la que bebemos para construir la estructura:

Comenzamos con el concepto de ‘Mito’ para pasar desarrollo de la astronomía en la Antigüedad (egipcios, babilonios, etc.) hasta llegar a Grecia, donde se detiene Carreira (1993, pp. 138 y ss.) en cierto detalle –para ser un esquema–. Con la Escuela de Alejandría el desarrollo científico toma cuerpo: Aristarco (mediciones de la Luna, distancia Sol-Tierra), Eratóstenes (medida bastante exacta del diámetro de la Tierra), Hiparco (ciclos y epiciclos) hasta ultimar con Ptolomeo (compila todo el “*saber astronómico*” en el “*Almagesto*”).

En Grecia se desarrollan las Matemáticas (Pitágoras, Arquímedes, etc.) y la Física y Filosofía de la Naturaleza (Parménides, Demócrito, Aristóteles, etc.).

Saltamos entonces a la Edad Media, con Roger Bacon y Alberto Magno como “*representantes casi únicos de un interés por las ciencias experimentales*” (Carreira 1993, p. 143) y la Escuela del ‘Impetus’, con Juan Buridan, Alberto de Sajonia y Nicolás de Oresme. En este tramo medieval destaca Mínguez Pérez (1986), detallado y con ideas para desarrollar⁶¹.

Pasamos al Renacimiento: Copérnico (sistema heliocéntrico), Tycho Brahe y Kepler (y sus tres leyes), y con Galileo⁶² puede considerarse que da comienzo la “*física matemática, cuantitativa*” (Carreira 1993, p. 144). Antes de Newton podemos resaltar las figuras de Descartes (los planetas se mueven por “*torbellinos del éter*”) y de Huygens (“*éter para explicar la propagación de la luz*”).

El modelo de Ptolomeo era geocéntrico y se basaba en epiciclos y deferentes, y el uso del punto ecuante⁶³. Que la Tierra se encontrara en el “centro del universo” no implica que no fuera una teoría válida científicamente (ya que era capaz de predecir) o que no existieran otras teorías⁶⁴. Esto es importante: modelos como el geocéntrico, aún superado por el heliocéntrico, consideramos que son “verdadera ciencia”, pues dotaba de una explicación a ciertos hechos.

⁵⁹ Casi a modo de “conferencia” o “clase” para alumnos de Secundaria o Bachillerato, como dijimos en la nota anterior, sólo que salpicado de referencias y citas bibliográficas.

⁶⁰ Manuel M. Carreira es sacerdote jesuita y Doctor en Física. Otro libro reseñable sobre ciencia y “*filosofía de la naturaleza*” desde un punto de vista católico es Aubert (1977).

⁶¹ En el Prácticum de este Máster, el Autor pudo explicar brevemente la evolución histórica y gradual de la composición de movimientos a alumnos de Bachillerato, que se sorprendieron de las diferencias entre la física aristotélica y el *tiro parabólico* que estudian en las asignaturas de Física, entendiéndolo que, sin saberlo, tienen “*tatuadas en sus cerebros*” ideas científicas tácitas o preconcebidas que en tiempos pasados no se tenían interiorizadas.

⁶² Para contextualizar, Shea y Artigas (2003).

⁶³ Udías Vallina (2004, p.41).

⁶⁴ El sistema heliocéntrico de Aristarco (Udías Vallina 2004, p. 44).

Con Tycho Brahe (siglo XVI) se acaba rechazando el modelo de Ptolomeo⁶⁵, con un modelo bastante particular en que el Sol gira en torno a una Tierra que ocupa el centro. Se puede decir –simplificando– que Tycho Brahe era el físico experimental⁶⁶ y Johannes Kepler el teórico.

Copérnico, por su parte, da un salto en esta concepción poniendo a la Tierra en movimiento y suprimiendo los ecuantos⁶⁷.

Kepler “[e]liminó definitivamente las esferas, hablando en cambio de órbitas planetarias” (Carreira 1993, p.144) y desarrolla sus tres leyes a partir de los resultados experimentales de Tycho Brahe:

- “
1. Las órbitas son elipses (venciendo al fin la obsesión del círculo).
 2. El radio del planeta al Sol cubra áreas iguales en tiempos iguales.
 3. Los períodos orbitales al cuadrado son proporcionales a las distancias planeta-Sol al cubo.
- ” (Carreira 1993, p. 144).

Como decíamos antes, con Galileo Galilei se puede dar por comenzada la “ciencia nueva” (seguimos aquí a Trebeschi 1977, pp. 133 y ss.). Se comienza a matematizar la Naturaleza, a experimentar y a usar instrumentos como el telescopio (“¡Los instrumentos no son engañosos!” Trebeschi 1977, p. 137), se da la “refutación de la vieja teoría [aristotélica] del movimiento” (p. 139) y la “nueva mecánica es el ligamen entre la física terrestre y la astronomía” (p. 139). Llegamos al “método experimental” o “método científico” (pp. 140-141). Surge la ciencia moderna.

Alcanzamos la Física Clásica: Newton (sus leyes del movimiento y la gravitación universal) da una “visión mecanicista [que] se extiende incluso a la termodinámica y a la electricidad” (Carreira 1993, 147).

Isaac Newton “es la gran figura de la física clásica. En su obra «*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*» presentó las leyes del movimiento y su aplicación al sistema solar” (Carreira 1993, p. 145). Para enunciarlas a continuación, las tomamos de Newton (1945, pp. 13 y ss.), por tener el texto un sabor más añejo:

“ PRIMERA LEY. Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme y en línea recta, salvo en cuanto muda su estado obligado por fuerzas exteriores.

SEGUNDA LEY. El cambio del movimiento [aceleración, aclara Carreira (1993, p.145)] es proporcional a la fuerza motriz imprimida, y se efectúa según la línea recta en dirección de la cual se imprime dicha fuerza.

TERCERA LEY. A toda acción se opone siempre una reacción contraria e igual: es decir, que las acciones entre dos cuerpos son siempre iguales entre sí y dirigidas en sentido contrario.
” (Newton 1945, pp. 13 y ss.).

No nos detenemos aquí demasiado en la Teoría de la Gravitación Universal de Newton⁶⁸, pues nos remitimos a V.2.1 Analogías y modelos en clase para contextualizar, donde se puede

⁶⁵ Udías Vallina (2004, p. 44). Bien es verdad que, ya en el siglo III a.C., Aristarco defiende un sistema heliocéntrico.

⁶⁶ “No fue un gran teórico” (Mínguez Pérez 1986, p. 129).

⁶⁷ Mínguez Pérez (1986, p. 123).

⁶⁸ Consultar Newton (2008) puede ayudar a contextualizar históricamente esta importantísima teoría e incluso usar algún fragmento de esta obra en alguna actividad.

ver una aplicación práctica donde se manejan estos conceptos. Baste consultar Carreira (1993), donde recoge la ley postulada por Newton:

“ Ley de la gravitación universal: todo ocurre en la naturaleza como si las cuerpos se atrajesen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. ” (p. 145)

Esta “visión mecanicista” copa los siglos XVIII y XIX⁶⁹ y “se extiende incluso a la termodinámica y a la electricidad” (Carreira 1993, p. 146). Lagrange “abre una perspectiva nueva que por encima de cualquier otra ve en la ciencia mecánica, en sus principios y leyes, su aspecto operativo, íntimamente relacionado con la capacidad de resolver problemas” (Trebeschi 1977, p. 229). Se pueden citar muchos nombres⁷⁰ en esta época de florecer de la ciencia: Lagrange, Laplace, Faraday, Maxwell, Boltzmann, Lavoisier en Química... A cualquier selección de nombres se le podría achacar ser parcial y sesgada. Seguir el material aportado en **IV.1 Aspectos generales y bibliografía útil** puede ser lo más aconsejable.

Aquí llegamos a la Física Moderna⁷¹: Física Cuántica y Relatividad. Con ellas se relanza la nueva astronomía y estudio del Universo⁷², además de otras áreas de la Ciencia y Tecnología. Encontraremos numerosa bibliografía científica y didáctica para trabajar la *Física Cuántica* y enfoques didácticos con recursos web o aplicaciones *online* en Rey Gallego (2015b), mientras que para la *Relatividad*⁷³ nos remitimos a la sección V.3.1 Michelson-Morley y Einstein del presente TFM. Debido a que ofrecemos actividades concretas, no nos extendemos en estas importantes teorías⁷⁴.

Podríamos explayarnos mucho más⁷⁵, pero sólo queremos una panorámica⁷⁶, ni siquiera un resumen de las diferentes teorías y autores, pues siempre se puede consultar la bibliografía aportada, pues juzgamos que algunos de los volúmenes son de una enorme calidad.

⁶⁹ Algunas biografías de científicos de estas épocas que se pueden utilizar para idear contextualizaciones son las de Crowther (1945a, 1945b y 1946).

⁷⁰ La Editorial Nivola tiene las colecciones “Científicos para la Historia” y “La matemática en sus personajes” que recomendamos de forma entusiasta.

⁷¹ Guzmán Díaz (2004) estudia “la función que juega la imaginación en el quehacer científico”, ayudándonos a transmitir mejor el contexto de diferentes momentos de la Física. Es importante la siguiente aseveración que realiza Guzmán (2004) al final de su artículo: “La dicotomía entre la cultura científica y la cultura humanística es auténtica en muchos sentidos, pero si pensamos en los elementos imaginativos de que se nutre la ciencia, las diferencias no son tan abismales. Aun así cada una de ellas tiene sus métodos y sus productos diferenciados”.

⁷² Mencionamos el “estudio del Universo” debido a la importancia en la sección V de este TFM.

⁷³ Drake (2006) nos ofrece un “diálogo socrático” acerca del “principio de equivalencia” que puede servir para introducir la Relatividad General y como ejemplo de método didáctico.

⁷⁴ Pensamos que siempre ha sido una gran carencia de los planes de estudio no enseñar con cierto detenimiento teorías como el Modelo Estándar (*Wikipedia*, “Modelo estándar de física de partículas”), ahora que tan de moda está la investigación del descubrimiento del bosón de Higgs (*Wikipedia*, Bosón de Higgs). Es una disciplina que –aventuramos– antes o después va a ir tomando importancia en los planes de estudio, por lo que comenzar a impartirla e ir ganando experiencia didáctica es muy necesario. Una posible introducción sería dar a leer a los alumnos de Secundaria y Bachillerato este artículo sobre los aceleradores de partículas: *Acelerando la Ciencia* (2015). Éste es sólo un ejemplo de temas candentes que se podrían empezar a impartir.

⁷⁵ Y somos conscientes de dejar muy esbozados y poco detalladas ramas enteras de la Física como la óptica, la electricidad, o la termodinámica (no sólo la relatividad y la cuántica). El anteriormente citado Alemañ (1998a) nos puede introducir en la Física Moderna a través de metáforas.

⁷⁶ Con todas las apreciaciones y pegadas que se pueden realizar, es curioso ver la ‘Introducción’ de Engels (1981).

V. ALGUNAS APLICACIONES PRÁCTICAS PARA CONTEXTUALIZAR LA FÍSICA Y SUS MÉTODOS

Como otros términos en este TFM, consideramos “contextualizar” y “contexto” de una forma flexible –y positivamente laxa en ocasiones–, más sueltos, lábiles o manejables en la práctica.

En este *apartado V* del TFM, que contiene propuestas de *intervención educativa* posibles, podrían destacarse dos dimensiones de la palabra “contexto”: 1) el contexto “histórico-filosófico” en la Ciencia y la Física (*apartados V.1 y V.3* principalmente) y 2) el contexto “conceptual-metodológico”: se usan “*modelos, analogías y metáforas*” para organizar mentalmente –contextualizar– a docentes y estudiantes la materia impartida (lo vemos especialmente en *V.2*, con algunos ejemplos ideados en clases particulares impartidas por el Autor del TFM).

V.1 Método científico en la historia del descubrimiento del Universo

V.1.1 Pensar científico y contexto

Consultando a Guzmán (2012), éste nos invita a rechazar una “*falsa imagen de la ciencia*” (p. 101) tratándola de manera simplista, como “*generadora de conocimiento totalmente objetivo, libre de intereses personales y basada únicamente en la experiencia y la razón*” (p.101 y ss.). Esta imagen es errónea o, al menos, muy matizable. A lo largo del presente trabajo procuraremos extraer una visión más realista sobre en qué consiste el *pensar científico*, incidiendo en sus bondades, limitaciones y aplicaciones. Necesitamos diseñar herramientas para lograr un aprendizaje efectivo y lograr –como hemos apuntado anteriormente– *enseñar a pensar* con metodologías diversas entre las que está el *método científico*.

Como hemos visto en secciones anteriores, existen diferencias entre la *razón mecánica* y la *dialéctica*. Entonces, dentro del *pensar científico*, podemos hacer la subdivisión entre el pensar mecánico y el dialéctico. En las asignaturas convencionales del currículo de la ESO y Bachillerato acerca de conceptos científicos el “pensar mecánico” es el habitual, pero nosotros buscaremos diseñar una metodología para estimular un “pensar dialéctico” en un marco de *divulgación científica*. Éste es un componente importante de *innovación* que queremos proponer, puesto que las asignaturas tienen diferentes situaciones en que se prestan a ello, y que además creemos parcialmente olvidado o minusvalorado.

Requerimos también, para provocar el interés, además de acrecentar la amenidad de la materia, *contextualizarla*. El contexto filosófico, histórico o sociológico, entre otros, o presentar distintos “escenarios”, ayudan a humanizar lo estudiado, lográndose por añadidura una mayor comprensión de los conceptos y de la metodología que supone el *método científico*.

Una asignatura idónea para desarrollar esta concepción de la enseñanza científica (tanto en conceptos como en métodos), pudiendo improvisar e innovar nuevas técnicas sin riesgo a no alcanzar el nivel adecuado de ciertos conceptos básicos al final de cada etapa de estudios, es “*Cultura Científica*” de 4º ESO (según LOMCE)⁷⁷.

Vamos a desarrollar parte de este temario –coincidente parcialmente con el de CMC de 1º de Bachillerato en la LOE–, incidiendo en los temas de “*método científico*” y en el de “*historia del universo*”.

Si contemplamos a vista de pájaro el panorama general de la Física Moderna, usando por ejemplo el libro de Guzmán (2012), podemos ver que tiene tres grandes pilares en que se basa y

⁷⁷ El temario encaja con el impartido en la asignatura “*Ciencias para el Mundo Contemporáneo*” (CMC) de 1º de Bachillerato en la LOE. Nosotros seguimos la LOMCE, pues es la ley en vigor. No obstante, el enfoque que presentamos es readaptable para distintas situaciones o para otras asignaturas o cursos extracurriculares, etc. El presente TFM es una propuesta-herramienta de trabajo que puede y debe ser adaptada y modificada según la situación.

que pueden servir para indicar en parte las vías previsibles para un desarrollo futuro: la Relatividad, la Mecánica Cuántica y la Mecánica Estadística⁷⁸. Resulta deseable que estas subdisciplinas se vean perfiladas al impartir los temas que hemos escogido de “Cultura Científica”, al entender que son ramas de investigación futura y que todo ciudadano debe tener nociones generales de su importancia y situación en el marco de la ciencia moderna.

Para no desbordar excesivamente los marcos del presente TFM nos limitaremos a desarrollar un esquema didáctico para las primeras secciones presentes en la ley de la asignatura escogida: “Bloque 1. Procedimientos de trabajo [en Ciencia]” y “Bloque 2. El Universo”.

Para ello, seguiremos⁷⁹ los “Criterios de evaluación” y “Estándares de aprendizaje” de los dos primeros bloques antedichos de la asignatura de 4º ESO de “Cultura Científica” según la LOMCE, tal y como vienen señalados en el *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*⁸⁰.

Antes de comenzar a dar un esbozo de métodos, recursos y técnicas a utilizar en una posible Unidad Didáctica que uniera ambos bloques de una manera lo más homogénea y continua posible, los repasamos a continuación.

Como el Gobierno de Cantabria precisa y completa algo más⁸¹ la materia que el *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre*, relacionando además los Criterios de evaluación con las “Competencias Clave”⁸², será la documentación que consultaremos y adjuntamos en **VII.1 Anexo I**.

V.1.2 Aplicación a “Cultura Científica” o “CMC”

Desarrollaremos en esta sección algunas ideas para conducirnos en los dos bloques de materia (ver *subcapítulo V.1.1* del presente TFM) que queremos esbozar para ayudar a la confección de

⁷⁸ Guzmán (2012), en un pie de página (p. 89), haciendo referencia a trabajos de Martin J. Klein, comenta que “Ehrenfest había desarrollado un gran interés por la posibilidad de desarrollar una analogía entre la termodinámica y la economía”. Tal y como se entrevé en la sección **II.3 Implicaciones socioeconómicas** es evidente la importancia de la economía en nuestro mundo, recientemente golpeado por una dura crisis económica, por lo que propósitos como estos pueden ser bastante interesantes y provechosos para la sociedad a la hora de “lograr nuevas perspectivas en la ciencia económica” (Guzmán y Cervera 2012, nota al pie en p. 12). Relacionado con esto conviene indicar el campo de la *econofísica* por su originalidad e interés indicamos: “This book [of Econophysics] concerns the use of concepts from statistical physics in the description of financial systems. Specifically, the authors illustrate the scaling concepts used in probability theory, in critical phenomena, and in fully developed turbulent fluids. These concepts are then applied to financial time series to gain new insights into the behavior of financial markets. The authors also present a new stochastic model that displays several of the statistical properties observed in empirical data.” Mantegna y Stanley (2000, p. ii).

⁷⁹ Al ser “Cultura Científica” una nueva asignatura –aunque se base en la precedente CMC–, nos creemos obligados a consultar detalladamente (**VII.1 Anexo I**) su legislación de una forma mucho más precisa que en otros lugares de este TFM con otras asignaturas con más tradición, como la “Física y Química” o la “Física” de Secundaria y Bachillerato (en ellas nos bastaría una consulta somera de la legislación, pero seguimos principalmente algunos de los muchos y variados libros de texto existentes).

⁸⁰ *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre*.

⁸¹ Accedemos a la web del Gobierno de Cantabria, *Educantabria.es*, en la asignatura *Cultura Científica (4º ESO y 1º Bachillerato)* – *Educantabria*, que es de donde extraemos el cuadro con los “Criterios de evaluación” y “Estándares de aprendizaje”. Además de relacionar con las “Competencias Clave”, incluye comentarios en *cursiva*; este documento que hemos podido recoger y consultar es el que viene adjuntado como un anexo denominado como **VII.1 Anexo I**.

⁸² Para acceder a las “Competencias clave”: *Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria*.

posibles Unidades Didácticas con el enfoque que planteamos (aunque no elaboraremos una Unidad Didáctica propiamente, sólo un esquema y algunas herramientas posibles a utilizar).

El plan consistiría en proponer, mientras seguimos un libro de texto convencional, lectura de textos, cómics, el visionado de una serie de películas, o incluso jugar a algún videojuego⁸³ de interés narrativo y didáctico para la Unidad. Algunas de estas actividades serían obligatorias y otras optativas, pero buscando provocar entre el alumnado interés en recopilar la máxima información posible por estas vías mediante una clase dinámica, desarrollada a modo de seminario siguiendo métodos dialécticos o dialogados, sugeridos mediante preguntas o actividades. Todo ello, como ya hemos indicado, en el marco de la asignatura de “Cultura Científica”, aún pudiendo usarse para CMC (Redondo Ciércoles y Gómez Castro 2006).

Esta *propuesta didáctica* la estructuramos proponiendo en cada parte, cada apartado un texto que contextualice el problema a tratar y la proyección de una *película o un vídeo*.

Dos libros de texto consultados (y que se pueden usar para impartir la asignatura de CMC de 1º Bachillerato) son Rubio, Pulido y Roiz (2008), en adelante nombrado como “Anaya” –por su editorial– y Jiménez, Prieto, Muñoz y Fernández (2012), en adelante nombrado como “McGraw-Hill” –por idéntico motivo–. Los libros son de CMC, son adaptables a “Cultura Científica” con facilidad.

Tanto ayudándonos por el libro de Anaya como por el de McGraw-Hill, podemos construir un esquema muy general de los dos primeros bloques a impartir, desglosado en el *índice propuesto* que ofrecemos a continuación:

* * * * *

ÍNDICE PROPUESTO

Bloque I: Metodología de la Ciencia

- I.1 Del Mito al Logos*
- I.2 Protociencia*
- I.3 Método científico*
 - I.3.1 Ciencia moderna*
 - I.3.2 Experimentación y debate científico*
- I.4 Lenguaje lógico-matemático*
- I.5 Pseudociencia, fraudes, desvíos y riesgos*

* * *

Bloque II: Historia del descubrimiento del Universo

- II.1 Modelos cosmogónicos y cosmológicos: Génesis*
- II.2 Espacio y tiempo: Big Bang y final del Universo*
- II.3 Sistema solar y otros planetas*
 - II.3.1 Planetas habitables*
 - II.3.2 Investigación científica y exploración espacial*
 - II.3.3 Especulaciones sobre vida en otros planetas*

* * * * *

Notas previas: Tras este pequeño *índice propuesto*, vamos a recoger algunos de los materiales con los que proponemos trabajar. Preferimos ser exhaustivos y reseñar más material del que se

⁸³ Morales Corral (2010).

puede utilizar, puesto lo que proponemos es, al mismo tiempo, una pequeña recopilación de materiales y el esbozo de una metodología.

*Planteamos las cuestiones o actividades posibles que puede sugerir el material adjunto en **negrita sin cursiva**, mientras los comentarios que correspondan los dejamos en letra convencional y para las notas a pie. Se podrán plantear preguntas posibles a los alumnos o dejarlo como debate libre o a elección del docente.*

Recordamos que (salvo excepciones) sugerimos de forma concreta *un texto y un vídeo* por cada apartado, pero serían posibles muchas opciones y alternativas, algunas de las cuales las dejamos reseñadas e interrelacionadas.

Los textos presentados son *escaneados* preferiblemente para lograr una diferenciación y mejor memorización y manejo de los mismos merced a la variedad de texturas, tipo de letra, etc. Según información compendiada en el artículo periodístico de Karelia Vázquez (2012), “La memoria del lector”, la pantalla de los *ebooks* resulta inconveniente para la memoria visual (“*Para recordar algo que hemos leído en una pantalla tenemos que repasarlo varias veces*”, Vázquez 2012), mientras que diferentes fuentes o tamaños de letra “*ayudan [en palabras de José Hamad en Vázquez (2012)] a diferenciar entre un texto y otro*” y a la asimilación de la información. Escaneando los textos procuramos reproducir estas sensaciones y efectos positivos. Posibles libros de texto que usaran estos materiales o semejantes deberían procurar, mediante una edición cuidada, mantener premisas semejantes.

Bloque I: Metodología de la Ciencia

I.1 Del Mito al Logos⁸⁴

La filosofía puede dividirse en varios periodos (Abbagnano 1972, Tomo I, pp. 8-9), pero a nosotros nos interesa el tan estudiado tránsito del ‘Mito’ al ‘Logos’. Según Ferrater Mora (1994, tomo III: letras K-P, pp. 2422-2425), “[s]e llama «mito» a un relato de algo fabuloso que se supone acontecido en un pasado remoto y casi siempre impreciso”, mientras que, aún con multitud de significados, “[c]on el logos se engendra un ámbito inteligible que hace posible el decir y hablar de algo” (Ferrater Mora 1994, tomo III: letras K-P, pp. 2202-2205).

No obstante, este salto de una explicación mitológica a un principio más racional, científico no fue “*brusco*” (Copleston 2012, Volumen I, Tomo I, p. 1-20), sino progresivo. Por ello se podrían tomar multitud de textos para contextualizar esta etapa de la historia del pensamiento humano, pero hemos escogido uno de Platón por las posibilidades de hacer nacer una actividad dialéctica en el aula y encajar con la actividad audiovisual posterior; y donde además se habla de la “*adquisición de la ciencia*” (Platón 1972, p. 26) y se puede debatir sobre posturas idealistas y empiristas, o sobre temas éticos.

En este *subapartado I.1*, además del texto de Platón (1972), es posible iniciar un debate sobre el paso del ‘Mito’ al ‘Logos’ usando textos poéticos de Lucrecio (1983) contenido en su “De la naturaleza de las cosas” donde se plantea que “[l]os dioses no intervienen en el mundo” (p. 184, al final del Libro II) o que “[e]l rayo no es obra de los dioses” (pp. 373-374).

⁸⁴ Las referencias bibliográficas de temática filosófica –Copleston, Ferrater Mora, Abellán (1996), etc.– que se contienen en este apartado y el TFM en general pueden –correctamente manejadas– resultar de gran valor y utilidad, trascendiendo el marco de este apartado y TFM; a las que debemos añadir la “*Historia de la Filosofía: Ideas, doctrinas*” en cuatro tomos dirigida por François Châtelet (1976), siéndonos especialmente útiles para este TFM los tomos II y III. Todas ellas las recomendamos absolutamente y pueden servir para ideas de innovación educativa interdisciplinar.

- Lectura y debate⁸⁵ del siguiente texto⁸⁶, perteneciente al diálogo de Platón “Fedón, o de la inmortalidad del alma” (Imagen I.1):

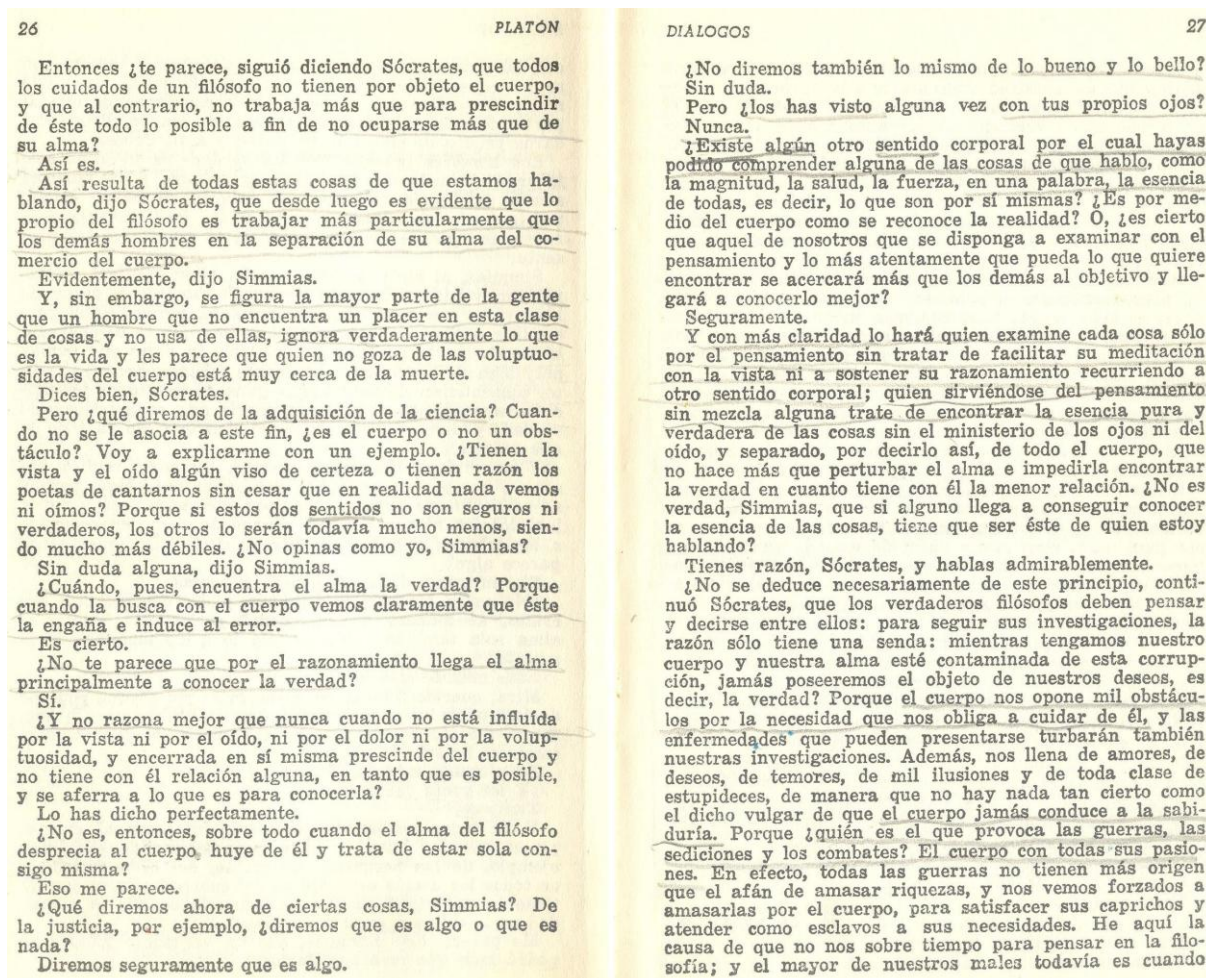


Imagen I.1

- Proyección de la película televisiva “Sócrates” (TV) (“Socrate”, Roberto Rossellini, 1971)⁸⁷ y debate.

Se pretende introducir a los alumnos en un pensamiento racional, que asimilen técnicas de pensamiento lógico como la reducción al absurdo y, en definitiva, como un pequeño “curso cero” de pensamiento científico, una propedéutica del rigor y del debate ordenado.

Un ejemplo de la *mayéutica*⁸⁸ de Sócrates, su método sobre cómo hacer preguntas para hacer resurgir el conocimiento es el que se puede encontrar en el minuto 50 del siguiente vídeo:

⁸⁵ Aunque las preguntas, cuestiones o actividades puedan redactarse en singular, son diseñadas para la posibilidad de realizarlas o debatirlas en grupos o con toda la clase, no sólo como respuestas o preparación individual.

⁸⁶ Platón (1972, pp. 26-27). Otra alternativa sería extraer algún diálogo del “Teeteto” de Platón (1990).

⁸⁷ Siempre que hablemos de la proyección de una película en este TFM, ésta puede ser montada con las escenas con los aspectos esenciales que quiera tratar el profesor. No se requiere necesariamente un visionado total. Algunas tienen acceso vía online, que indicamos en la **VIII. BIBLIOGRAFÍA**.

⁸⁸ Wikipedia, “Mayéutica”: <http://es.wikipedia.org/wiki/May%C3%A9utica>

<https://youtu.be/qixfEOavcqE?t=2697> En él se discute, hasta llegar a una reducción al absurdo o hacer surgir del conocimiento, sobre el modo adecuado de elegir a los gobernantes.

I.1.1. Cuestión 1: ¿Piensas, como Sócrates según el texto de Platón, que el cuerpo es un estorbo para llegar a conocer la verdad? ¿La ciencia es más idea o experiencia, qué prevalece?

I.1.1. Cuestión 2: ¿Es posible dilucidar problemas mediante el diálogo? Presenta algún ejemplo.

I.2 Protociencia

Aquí, en este subapartado, puede ser aconsejable ver en primer lugar la película (o una selección montada de la misma) propuesta.

- **Proyección de la película “Scoto, el defensor de la Inmaculada” (“Duns Scoto”, Fernando Muraca, 2011) y debate.**

Sirve para contextualizar en el pensamiento escolástico y así poder contemplar su método dialéctico y comentar aspectos científicos de similar forma –aunque con argumentos contemporáneos– en clase⁸⁹.

Tras la introducción en el pensamiento medieval con las películas antedichas, proponemos la lectura del siguiente texto: la “Cuestión 67: Sobre la obra de diversificación en cuanto tal”, y, dentro de la misma, concretamente su “Artículo 2: La luz, ¿es o no cuerpo?”, de la “Suma de Teología” –también denominada “Suma Teológica”– de Tomás de Aquino (2001, pp. 628-630)⁹⁰.

- **Lectura y debate del siguiente fragmento de la ‘cuestión 67’ de la “Suma Teológica” de Tomás de Aquino (Imágenes I.2):**

ARTÍCULO 2

La luz, ¿es o no es cuerpo? ^b

In Sent. I.2 d.13 a.3; De Anima I.2 lect.14.

Objeciones por las que parece que la luz es cuerpo:

1. Dice Agustín en el libro *De Lib. Arbit.*⁵: *Entre los cuerpos, la luz ocupa el primer lugar. Por lo tanto, la luz es cuerpo.*

2. Más aún. El Filósofo⁶ dice que la luz es una especie de fuego. Pero el fuego es cuerpo. Por lo tanto, la luz es cuerpo.

Imagen I.2 (1/2)

⁸⁹ Como complemento puede ser eficaz como ambientación y contexto “La otra cara de Dios” (“*Stealing Heaven*”, Clive Donner, 1988), sobre Pedro Abelardo y Eloísa. También se puede ver el documental “Ramón Llull: ciencia y acción” (“*Ramon Llull: ciencia i acció*”, Josep Oller, 2003–1994–).

⁹⁰ Podemos acceder y se permite consultar de forma moderada y racional –pues se advierte de la existencia de derechos de autor (“*se permite únicamente la lectura de la obra y la copia de breves párrafos para su posterior impresión*”, Web “Biblioteca Campus Dominicano”)– el texto completo online en la Web “Biblioteca Campus Dominicano” (“*Suma Teológica*”, Tomás de Aquino): <http://biblioteca.campusdominicano.org/suma.htm> También se puede consultar online la “Suma Teológica” en “Suma Teológica” Online: <http://hig.com.ar/sumat/>

3. Todavía más. Ser llevado, dividido o reflejado es propio de los cuerpos. Todo esto se atribuye a la luz o al rayo de luz. También, los diversos rayos se unen o separan, como dice Dionisio en el c.2 *De Div. Nom.*⁷, lo cual también parece que es algo que no le corresponde más que a los cuerpos. Por lo tanto, la luz es cuerpo.

En cambio, dos cuerpos no pueden estar al mismo tiempo en un mismo lugar. Por lo tanto, la luz no es cuerpo.

Solución. *Hay que decir:* Es imposible que la luz sea cuerpo. Y esto es así por un triple motivo. *Primero*, por lo que respecta al lugar. Pues el lugar de cualquier cuerpo es distinto del lugar de otro cuerpo. Tampoco es posible, por naturaleza, que dos cuerpos, cualesquiera que sean, estén al mismo tiempo en un mismo lugar; porque lo contiguo requiere distinción local. *Segundo*, por lo que respecta al movimiento. Pues si la luz fuese cuerpo, la iluminación sería el movimiento local del cuerpo. Pero ningún movimiento local de un cuerpo es instantáneo; porque todo lo que se mueve localmente es necesario que antes llegue al medio que al final. No obstante, la iluminación es instantánea. Tampoco puede decirse que se realiza en un tiempo imperceptible. Porque, en un pequeño espacio, el tiempo podría pasar inadvertido, pero no en un espacio grande, como el que va de oriente a occidente; pues ya cuando el sol está en un punto de oriente, queda iluminado todo el hemisferio hasta el punto opuesto. Y hay algo más a tener presente con respecto al movimiento. Todo cuerpo tiene un movimiento natural determinado; pero el movimiento de la iluminación se extiende a todas partes, tanto en línea recta como circular. Por eso resulta evidente que la iluminación no es el movimiento local de ningún cuerpo. *Tercero*, con respecto a la generación y corrupción. Pues si la luz fuese cuerpo, cuando el aire se oscureciera por falta de iluminación, se

seguiría que el cuerpo de la luz se corrompería y que su materia tomaría otra forma. Esto no sucede, a no ser que alguien sostenga que también las tinieblas son cuerpo. Tampoco vemos la materia de la que pueda surgir diariamente un cuerpo capaz de llenar medio hemisferio. Resulta ridículo también decir que por la sola ausencia de iluminación, se corrompa un cuerpo tan inmenso.

Si alguien sostuviera que dicho cuerpo no se corrompe, sino que junto con el sol se acerca y envuelve, ¿quién puede decir que al poner algún cuerpo cerca de una vela queda oscurecida toda la habitación? Tampoco parece que la luz se concentre alrededor de la vela, pues no se ve que allí haya más luz después que antes. Por lo tanto, porque todo esto es contrario no sólo a la razón, sino también al sentido, hay que decir que es imposible que la luz sea cuerpo.

Respuesta a las objeciones: 1. *A la primera hay que decir:* Agustín toma luz por cuerpo luminoso en acto, es decir, por fuego, que es el más importante de los cuatro elementos.

2. *A la segunda hay que decir:* Aristóteles llama luz al fuego en su propia materia, en la misma medida en que en la materia aérea se denomina llama y en la materia terráquea carbón. Pero no hay que prestar excesiva atención a los ejemplos que Aristóteles ofrece en sus libros de Lógica, ya que los presenta como probables según la opinión de otros.

3. *A la tercera hay que decir:* Todo aquello es atribuido a la luz en sentido metafórico; como también puede ser atribuido al calor. Pues, porque el movimiento local es por naturaleza el primero de los movimientos, como se demuestra en VIII *Physic.*⁸, usamos nombres correspondientes al movimiento local para indicar la alteración y cualquier otro tipo de movimiento. Al igual que el nombre distancia, que, derivando de lugar, se aplica a todos los contrarios, según se dice en X *Metaphys.*⁹

Imagen 1.2 (2/2)

En este texto se ve representado un pensamiento racional y de cierta seriedad acerca de la velocidad de la luz que, aunque deviene en una conclusión falsa por utilizar premisas erróneas, da una idea del rigor con el que se debe actuar en ciencia, anticipando lo que será la *ciencia moderna* con Galileo. Con estos materiales se procura, aparte de acrecentar el gusto por las opiniones argumentadas y abandonar –o al menos matizar– la idea de una Edad Media “oscura”⁹¹.

I.2. Cuestión 1: ¿Piensas que la Edad Media es un periodo “oscuro” de nuestra historia⁹²? Organiza un debate informado con tus compañeros divididos en dos grupos defendiendo posturas antagónicas.

I.2. Cuestión 2: ¿Llamarías “razonamiento científico” al anterior texto de Tomás de Aquino?

⁹¹ La lectura de Pernoud (1998) resulta muy provechosa para este objetivo, aun no siendo un libro centrado en lo científico sino puramente histórico y sociológico. También es interesante Cohn (1985), sobre el “*milenarismo*”.

⁹² “*Todo el que se propone seriamente establecer una clara división entre la Edad Media y el Renacimiento advierte que los límites se ensanchan y escapan*” (Huizinga 1967, p. 434). Johan Huizinga (2013) lo trata en un pequeño texto aparte, “El problema del Renacimiento”, que comienza con un pequeño debate dialéctico que puede servir de ejemplo para los métodos que proponemos con los alumnos.

I.3 Método científico

I.3.1 Ciencia moderna

Aunque se venía perfilando con pensadores anteriores, es común fechar el nacimiento de la *ciencia moderna*⁹³ con la aparición de Galileo Galilei en escena.

- Proyección de la película “La vida de Galileo” (“Galileo”, Joseph Losey, 1974) y debate.

En el texto⁹⁴ de contextualización que proponemos para su lectura y debate junto con la película anterior, Salviati –el punto de vista de Galileo– dialoga con Simplicio –defensor de la visión ptolemaica y aristotélica– acerca de la finitud del mundo. En el fragmento escogido, queda patente la argumentación científica, aunque pobre, de Simplicio, que se acoge a figuras de autoridad del pasado (los “*peripatéticos*”) en vez de aceptar y asumir lo que indica la experiencia (la postura de Salviati).

- Lectura y comentario del siguiente texto del “Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo” de Galileo Galilei⁹⁵, donde Salviati y Simplicio discuten sobre la finitud del mundo (Imágenes I.3):

SALV. El favor me obligará a agradecerlos, no a perdonarlos. Pero empiece ya el Sr. Simplicio a plantear las dificultades que le impiden poder creer que la Tierra, como los otros planetas, pueda moverse girando en torno a un centro inmóvil.

SIMP. La primera y máxima dificultad es la repugnancia e incompatibilidad que existe entre estar en el centro y estar lejos de él. Porque, si el globo terrestre ha de moverse en un año por la circunferencia de un círculo, es decir bajo el zodiaco, es imposible que al mismo tiempo esté en el centro del zodiaco. Pero que la Tierra esté en dicho centro, está probado de muchos modos por Aristóteles, por Ptolomeo y por otros.

SALV. Razonáis muy bien, y no hay duda ninguna de que quien quiera hacer mover la Tierra por la circunferencia de un círculo, primero tiene que probar que no está en el centro de dicho círculo. Así pues, ahora tenemos que ver si la Tierra está o no está en ese centro, en torno al cual yo digo que gira y en el cual vos decís que está colocada. Y antes de esto, es necesario además que aclaremos si de dicho centro vos y yo tenemos la misma idea o no. Por ello, decid cuál es y dónde está ese centro que vos entendéis como tal.

SIMP. Entiendo como centro el del universo, el del mundo, el de la esfera estrellada, el del cielo.

SALV. Por más que podría discutirlos muy razonablemente si en la naturaleza existe tal centro, dado que ni vos ni ningún otro ha probado nunca que el mundo sea finito y con una determinada forma o bien infinito e ilimitado⁹⁴, sin embargo, concediéndolos por ahora que sea finito y delimitado por una forma esférica, y que por eso tenga un centro, habrá que ver hasta qué punto es creíble que la Tierra, y no más bien otro cuerpo, se encuentra en el centro.

SIMP. Que el mundo es finito, limitado y esférico, lo prueba Aristóteles con cien demostraciones.

SALV. Que se reducen a una sola, y ésta a nada. Porque si yo le negara su premisa, es decir que el universo sea móvil, todas sus demostraciones se derrumban, porque él no prueba que sea finito y limitado más que de un uni-

Hasta ahora nadie ha probado que el mundo sea finito o infinito.

Las demostraciones de Aristóteles para demostrar que el universo es finito se derrumban si se niega que éste sea móvil.

Imagen I.3 (1/2)

⁹³ Ver **III.1 Aspectos generales** y, sobre todo, **IV.2 Breve panorámica**.

⁹⁴ Wikipedia, “Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo”:

http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%A1logos_sobre_los_dos_m%C3%A1ximos_sistemas_del_mundo

⁹⁵ Galileo Galilei (2011, pp. 277-278). SALV. = Salviati, SIMP. = Simplicio.

Aristóteles hace centro del universo al punto en torno al cual giran las esferas celestes.

Se pregunta cuál de 2 proposiciones contrarias a su doctrina admitiría Aristóteles si se viese obligado a aceptar una.

verso que es móvil.⁴² Pero para no multiplicar las disputas, aceptemos por el momento que el mundo sea finito, esférico y tenga su centro. Y ya que tal figura y centro se ha argumentado a partir de la movilidad, será muy razonable que pasemos a la investigación particularizada del sitio propio de tal centro a partir de los mismos movimientos circulares de los cuerpos mundanos. También el propio Aristóteles argumentó esto y lo resolvió de la misma manera, haciendo centro del universo al mismo en torno al cual giran todas las esferas celestes y en el que creyó que estaba colocado el globo terrestre. Ahora decídme, Sr. Simplicio, si Aristóteles se viera obligado por experiencias evidentes a permutar en parte su disposición y orden del universo, y a confesar que se había engañado en alguna de estas dos proposiciones, es decir o en el poner la Tierra en el centro o en decir que las esferas celestes se mueven en torno a dicho centro, ¿cuál de las dos confesiones creéis que elegiría?

SIMP. Creo que si se diera el caso, los peripatéticos...

SALV. No pregunto por los peripatéticos, pregunto por Aristóteles mismo, porque en cuanto a aquellos sé perfectamente lo que responderían. Como reverentísimos y humildísimos siervos de Aristóteles, negarían todas las experiencias y todas las observaciones del mundo y se negarían incluso a verlas, para no tener que confesar, y dirían que el mundo permanece como escribió Aristóteles, y no como quiere la naturaleza.⁴³ Porque si se les quita el apoyo de esa autoridad, ¿con qué queréis que se presenten a la discusión? Por tanto, decídme más bien lo que vos creéis que iba a hacer el propio Aristóteles.

SIMP. Realmente no sabría decidir cuál de los dos inconvenientes consideraría él menor.

SALV. No uséis, os lo ruego, este término y denominéis «inconveniente» a lo que podría ser así necesariamente. El «inconveniente» fue querer poner la Tierra en el centro de las revoluciones celestes. (...)

Imagen 1.3 (2/2)

I.3.1. Cuestión 1: ¿Qué te parecen los argumentos de Simplicio? ¿Consideras científica su postura?

I.3.1. Cuestión 2: ¿Es justo Salviati reprochándole el uso de la palabra “inconveniente” respecto al análisis de posibilidades científicas?

I.3.2 Experimentación y debate científico

Ya hemos visto en el *subapartado* I.3.1 anterior un pequeño ejemplo de posible debate científico, pero aquí veremos la importancia de la experimentación en el debate y postulación de teorías mediante películas como “Blaise Pascal” (“*Blaise Pascal*”, Roberto Rossellini, 1972)⁹⁶.

Aunque nos encontremos en un TFM dirigido a la enseñanza de la Física en concreto, ésta hace uso del *método científico* y la experimentación, y podemos usar algún ejemplo de otras disciplinas para poder discutir sobre él. Concretamente, tomaremos un ejemplo sacado de la Química para contextualizar histórica y conceptualmente esta cuestión: la hipótesis⁹⁷ del *flogísto* y el descubrimiento del oxígeno, que puede ser atribuido a Priestley y Lavoisier⁹⁸. Nosotros usaremos un texto de Lavoisier⁹⁹ para realizar nuestra actividad y hacer ver la importancia de la

⁹⁶ Las escenas en torno al minuto 45 en adelante son especialmente ilustrativas: <https://youtu.be/C3fhX3q0-SQ?t=2810>. Además, en esta película tiene la nota curiosa de mostrar uno de los “inventos” de Pascal: las líneas de “autobús”, sólo que a caballo. También es recomendable, como complemento, “Descartes” (“*Cartesius*”, Roberto Rossellini, 1974). Como vemos, Roberto Rossellini es una gran fuente videográfica para este TFM.

⁹⁷ Asimov (1975, pp. 49 y ss.), que además es un libro ameno accesible y riguroso de Historia de la Química.

⁹⁸ Kuhn (2006, pp. 130-136) señala las dificultades para asignar autoría al descubrimiento del oxígeno. Y Johnson (2010) novela este periodo en torno a Priestley, ayudando a situarnos en el ambiente y circunstancias históricas.

⁹⁹ Asimov (1981, pp. 47). Este libro recoge, aparte de la figura clave de Lavoisier, otros muchos personajes y “[m]omentos estelares de la ciencia”.

experimentación y verificación de los hechos empíricos a la hora de plantear y refutar hipótesis científicas, así como revalorizar teorías hoy en día falsadas, como mismamente la del “flogisto”, pero que tenían su parcial potencia explicadora en el contexto de su momento.

- Lectura y debate acerca de una nota lacrada de Lavoisier (Imagen I.3.2) al secretario de la Academia de Ciencias de 1 de noviembre de 1772¹⁰⁰:

“Hace ocho días descubrí que el azufre, al arder, lejos de perder peso, más bien lo gana: es decir, que de una libra de azufre puede obtenerse más de una libra de ácido vitriólico, lo que se consigue gracias a la humedad del aire. Es lo mismo que en el caso del fósforo. El aumento de peso proviene de la prodigiosa cantidad de aire que se fija durante la combustión y se mezcla a los vapores.

Este descubrimiento a que he llegado mediante experimentos que considero decisivos, me induce a creer que lo que se observa en la combustión del azufre y el fósforo puede del mismo modo suceder en el caso de todos aquellos cuerpos que aumentan de peso en la combustión o calcinación. Estoy persuadido de que a las mismas causas se debe el aumento de peso de los residuos fijos metálicos. Los experimentos han confirmado plenamente mis conjeturas. He reducido litargirio en vasijas cerradas empleando el aparato de Hales, y he observado que se desprende una cantidad considerable de aire en el preciso momento en que el litargirio se convierte en metal, y que este aire ocupa un volumen mil veces mayor que la cantidad de litargirio empleado.

Como este descubrimiento parece ser uno de los más interesantes que se han hecho desde la época de Stahl, comprendo que es mi deber poner esta nota en manos del secretario de la Academia, de la que guardará secreto hasta que yo pueda publicar mis experimentos.”

Imagen I.3.2

Para ampliar la explicación tomamos unas líneas de Alonso, Fidalgo, Hontiyuelo, Mínguez, Peraita, Rey y Rodríguez (2015): “La teoría del flogisto, aún incorrecta, es verdadera ciencia debido a que es un modelo explicativo viable en cierto grado. Toda ciencia, según la “metainducción pesimista”¹⁰¹ es “falsa”, ya que antes o después son refinadas y sustituidas. El flogisto fue “sustituido” por el OXÍGENO, pero fue clave en el paso de la Alquimia a la Química. Posteriormente, Lavoisier daría el empujón final a esta incipiente ciencia: la Química”.

Se pueden añadir a continuación unas líneas reelaboradas a partir de diálogos de la obra teatral inédita “La hora de la siega”, Rey Gallego (2014a), del propio Autor del TFM, pretendiéndose explicar y contextualizar la idea del flogisto:

“El flogisto es una teoría dieciochesca que decía, básicamente, que en la calcinación de un metal se venía a consumir una sustancia, el flogisto. Significa inflamable.

El problema surgía al hacer el proceso inverso con la cal fundida y “recuperar” el flogisto, volviendo al metal. Vieron que, pese a añadirse flogisto, el resultante pesaba más. Luego el flogisto debería tener una masa negativa. Debería flotar.

[Posteriormente] Lavoisier vio que, en vez de agregarse algo la cal, era al revés, parte del aire se pegaba al metal formando la cal. Lo que sería luego el oxígeno. Oxidación. [Reinterpretándolo, el] flogisto era, en realidad, el oxígeno.”

I.3.2. Cuestión 1: ¿Por qué es importante comprobar empíricamente los hechos en Ciencia?

I.3.2. Cuestión 2: ¿Conoces alguna revista científica? ¿Has oído hablar de revistas como “Investigación y Ciencia”¹⁰²? ¿Por qué crees que es importante el debate entre los científicos?

I.3.2 Cuestión 3: ¿Piensas que las teorías científicas actuales son correctas?

¹⁰⁰ Texto recogido de Pellón (2002), que a su vez consulta un trabajo de “Bensaude-Vincent, B., “Lavoisier: Una revolución científica” en M. Serrés, Historia de las ciencias. Cátedra, Madrid, 1991, pp. 410-435”. *Imagen I.3.2* extraída de Ex-A-FESQ (S.F.).

¹⁰¹ Una defensa de la “metainducción pesimista” en Flórez Quintero (2012).

¹⁰² También sería posible interesarles por la investigación científica académica haciéndoles navegar –por encima– por webs como Arxiv.org a modo de curiosidad.

I.4 Lenguaje lógico-matemático

El lenguaje de la Lógica y las Matemáticas¹⁰³ resulta fundamental para el desarrollo del conocimiento científico¹⁰⁴, por ello merece la pena detenerse un momento a hacer notar esta importante noción.

Para ello usamos “Logicomix” (Doxiadis y Papadimitriou, 2009), una excelente novela gráfica¹⁰⁵ sobre la vida de Bertrand Russell¹⁰⁶ en la que –aunque se toma algunas licencias– compendia de una forma amena la historia de la Lógica¹⁰⁷ y la crisis de los fundamentos de las matemáticas¹⁰⁸. Podemos encontrar un extracto en **VII.2 Anexo II**. Esta lectura (como todas las sugeridas¹⁰⁹) puede ser completa o extractada.

- Lectura de “Logicomix”, con debate y comentario.

I.4. Cuestión 1: ¿Son las Matemáticas¹¹⁰ la ciencia fundamental? ¿Qué diferencias encontrarías entre ciencias formales y ciencias experimentales?

I.4. Cuestión 2: ¿Por qué el estudio de las Matemáticas es importante para el mundo moderno y la Física¹¹¹ en particular?

I.4. Cuestión 3: ¿Son verdaderamente difíciles la Lógica y las Matemáticas? ¿Por qué?

¹⁰³ Piaget y Beth (1961) tienen un libro imperdible escrito a cuatro manos sobre “lógica formal” y “pensamiento real” postulando que “cada una de estas dos actividades, la del lógico y las del psicólogo, remite a la otra: no porque sean interdependientes, sino porque, siendo ambas enteramente autónomas, se complementan” (p. 384).

¹⁰⁴ Barceló (1992, pp. 91) recoge unos recuerdos de Paul Lafargue sobre su suegro, Karl Marx, que “opinaba que «la ciencia sólo llega a la perfección cuando consigue valerse de la matemática»”. Aunque añade Alfons Barceló que hay riesgo en ello (1992, pp.91-92) ya que “conviene tener presente que se pueden traducir a lenguaje lógico formal tesis teológicas y teorías sobre fantasmas. (...). [E]s preciso distinguir entre maestría formal y profundidad científica. Una construcción teórica sin ideas sustantivas representa virtuosismo hueco”.

¹⁰⁵ Aparte de la antedicha “Logicomix”, se puede leer también “Cosmicómic”, de Balbi y Piccioni (2014) y de la que recogemos unos fragmentos en el **VII.3 Anexo III**, o “Feynman” (Ottaviani y Myrick 2012), que no manejamos en el presente TFM pero sí recomendamos: un uso posible puede ser contextualizar los “diagramas de Feynman” (*Wikipedia*, “Diagrama de Feynman”) como ejemplo de analogías. Las tres novelas gráficas pueden formar un buen tríptico en cómic de las Matemáticas y la Física contemporáneas. Totalmente recomendables.

¹⁰⁶ Un excelente compendio de la obra de Bertrand Russell son el manejable par de tomos de Russell (1984).

¹⁰⁷ Para una primera aproximación a la disciplina de la Lógica es aconsejable seguir a Mosterín (2007), pero si se quiere una visión general más rigurosa, recomendamos Kneale & Kneale (1980). Deaño (1974) es un buen manual de lógica formal. También es aconsejado al menos un primer contacto con la demasiado poco conocida “lógica difusa” o “borrosa” –“fuzzy logic”–, ver Kosko (1995 y 2000).

¹⁰⁸ Javier de Lorenzo (1998, 2000) tiene libros muy interesantes sobre matemáticas y sus filosofías, crisis, etc.

¹⁰⁹ También, aparte de lecturas, se pueden utilizar películas sobre Matemáticas como “Una mente maravillosa” (“*A Beautiful Mind*”, Ron Howard, 2001), basada en Nasar (2005); o “21 Black Jack” (“*21: Blackjack*”, Robert Luketic, 2008).

¹¹⁰ En el presente Máster de Profesorado, durante el Prácticum, recomendamos a un alumno aventajado los “Elementos de Matemáticas” de José Martínez Salas en cualquiera de sus múltiples ediciones. El Autor hace uso de Martínez Salas (1969).

¹¹¹ Un libro de divulgación, aunque de nivel bastante alto, que trata las interrelaciones entre Matemáticas y Física es Penrose (2006).

También proponemos dar a conocer al alumnado un fragmento de la obra de Pierre-Simon de Laplace (2006)¹¹², “Exposición del sistema del mundo”.

- Lectura y comentario de un texto (Imagen I.4) de Laplace¹¹³:

Elevación y depresión de fluidos en tubos capilares varían con la temperatura, merced a los cambios que el calor produce en el diámetro de los tubos y principalmente en la densidad de los fluidos. Respecto a fluidos que gozan como el alcohol de una liquidez completa se tiene el siguiente teorema general: «La elevación de un fluido que moja exactamente las paredes de un tubo capilar a diversas temperaturas está en proporción directa a la densidad del fluido e inversa al diámetro interior del tubo».

Aplicando la teoría precedente a la depresión del mercurio en los barómetros se puede establecer una tabla de depresiones correspondientes a diversos diámetros de tubos, y por ese procedimiento hacer comparables entre sí instrumentos tan preciosos para la Astronomía, la Física y la Geografía.

Una de las mayores ventajas de las teorías matemáticas, y la más apta para establecer su certeza, consiste en vincular fenómenos que parecen dispares determinando sus relaciones mutuas no por medio de consideraciones vagas y conjeturas, sino de cálculos rigurosos. Así la ley de la gravitación universal vincula flujo y reflujo de la mar con las leyes del movimiento elíptico de los planetas. Así también la precedente teoría hace depender de la ascensión de líquidos en tubos capilares la adhesión de discos a superficies de líquidos, e igualmente la atracción y repulsión de los corpúsculos que flotan en ellas.

Imagen I.4

- Proyección de la película “Wittgenstein”¹¹⁴ (“Wittgenstein”, Derek Jarman, 1993) y debate.

Esta cinta se centra más en los aspectos de la lógica referidos al lenguaje, por lo que puede ser muy provechosa para un enfoque dialéctico y una mejor comprensión de los objetivos del mismo por parte de docente y alumnado.

Ver el vídeo “**Ludwig Wittgenstein. Sobre el lenguaje**”, seleccionado y montado a partir de material de la película nos puede ahorrar gran cantidad de tiempo.

I.5 Pseudociencia¹¹⁵, fraudes, desvíos y riesgos de la ciencia

Este subapartado I.5 que proponemos se presta a hablar de múltiples temas relacionados con consecuencias negativas de la ciencia, caminos desviados, etc. Usaremos Berry (1977) para la actividad propuesta.

¹¹² Laplace (2006) tiene en su ‘Libro V’ un ‘Compendio de Historia de la Astronomía’, por lo que se constata la preocupación científica por la contextualización histórica y conceptual de la Ciencia desde muchos años atrás de la época actual.

¹¹³ Laplace (2006, p. 469, aunque es muy adecuado leer también las páginas alrededor de la que extractamos).

¹¹⁴ Sobre Wittgenstein, lógica y matemáticas se puede consultar el capítulo 12 (pp. 113 y ss.) de Alonso, Ayestarán y Ursúa (1996).

¹¹⁵ Sobre pseudociencia se puede leer a Fritze (2010) o el hilarante “escándalo Sokal” (Wikipedia, “Escándalo Sokal”) para diseñar otras actividades para este contexto.

- Lectura y debate de un fragmento de “Los próximos diez mil años” (Imagen 1.5) de Adrian Berry¹¹⁶:

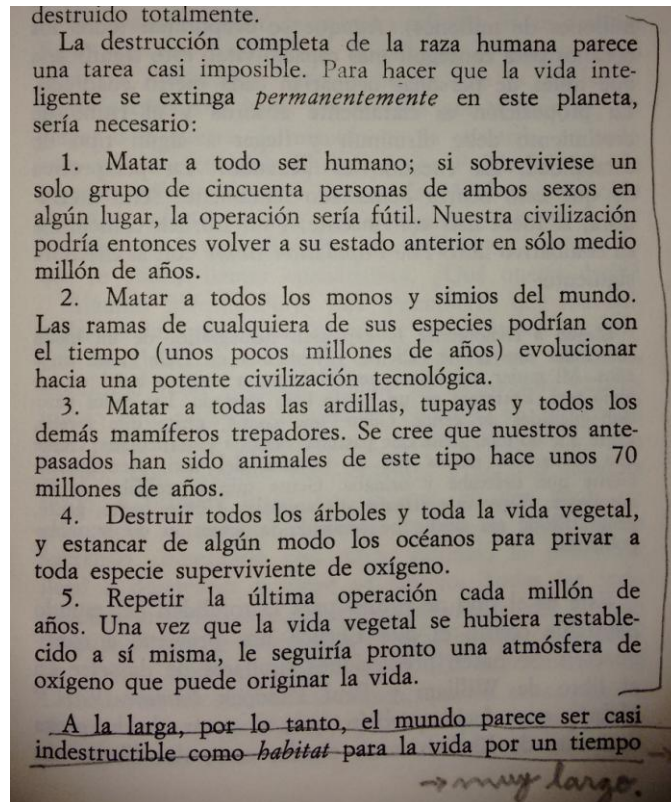


Imagen 1.5

- Proyección de la película “La herencia del viento” (“*Inherit the Wind*”, Stanley Kramer, 1960) y debate.

Esta película sobre un juicio a un profesor por enseñar el darwinismo es un clásico que puede ayudarnos a contextualizar los problemas que puede tener una idea nueva para abrirse paso en la sociedad.

I.5. Cuestión 1: ¿Debe ser libre la investigación científica aunque comporte riesgos?

I.5. Cuestión 2: ¿Pensas que las nuevas ideas reciben gran oposición al comienzo? ¿Por qué?

* * *

Bloque II: Historia del descubrimiento del Universo

En este TFM primamos la localización de textos, bibliografía o filmoteca varia –además del uso de diferentes técnicas como la dialéctica o diálogos para el proceso de enseñanza-aprendizaje, o analogías y metáforas– para una Historia de la Física contextualizada, pero no pretendemos una revisión exhaustiva de la Historia del Universo (para ello se pueden seguir los libros de CMC de “Anaya” y “McGraw-Hill” –mencionados al comienzo de esta sección V.1.2 de este TFM–)¹¹⁷.

¹¹⁶ Berry (1977, p. 43). Está localizado en un post de Metronax del Blog “Destilando Libros”.

¹¹⁷ Insertamos en esta nota al pie una referencia clásica para ampliar la información sobre la temática del Universo y su posible utilización en esta Unidad Didáctica: el clásico libro “El Universo” de Isaac Asimov (1977).

II.1 Modelos cosmogónicos y cosmológicos: Génesis¹¹⁸.

En el **Bloque I**, en la parte **I.1 Del Mito al Logos** ya hemos comentado unas líneas el paso del 'Mito' al 'Logos', donde también podría incluirse la siguiente propuesta didáctica. Aquí se puede aprovechar para preguntar diferencias entre *cosmogonía* ('Mito') y *cosmología* ('Logos').

- Lectura y comentario del siguiente texto de la Biblia (*Imagen II.1*):

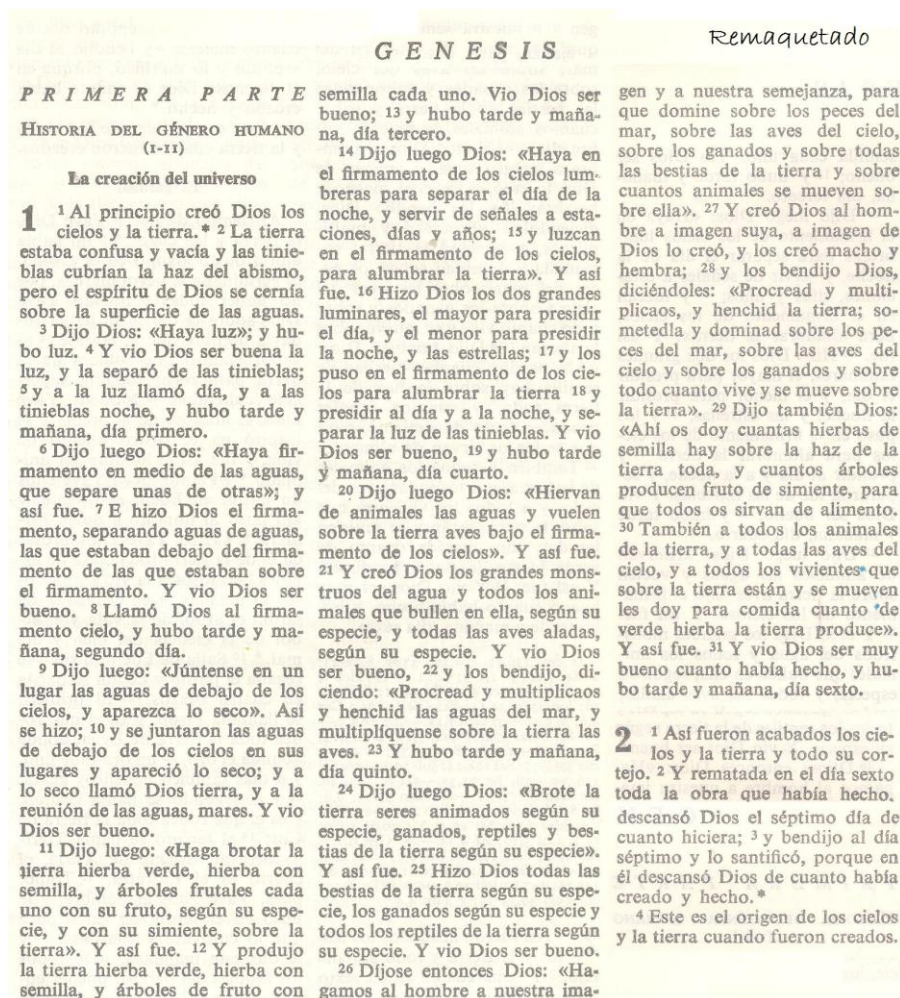


Imagen II.1

“La pregunta acerca de la aparición del mundo es la pregunta acerca del origen propio. El hombre, que duda de sí mismo, pretende desde siempre asegurarse de su existencia por medio del conocimiento sobre el origen y la historia del mundo; quiere reconocer el lugar propio en el orden del mundo y expresar en palabras este conocimiento, para poder de esta manera adueñarse de las potencias del mundo” (Heimendahl 1969, p. 15). Una película sobre los inicios de esta lucha del Hombre para arrancar conocimiento a la Naturaleza es “Ágora”, de Alejandro Amenábar.

- Proyección de la película “Ágora”¹¹⁹ (“Ágora”, Alejandro Amenábar, 2009) y debate.

¹¹⁸ Con objeto de contextualizar esta sección, usaremos un texto relativamente “poco conocido” para el alumno medio: el inicio del Génesis –usamos la traducción de la Biblia Nacar-Colunga (1980) y la imagen que adjuntamos está remaquetada–.

Se puede decir que la película “Ágora” no es totalmente rigurosa históricamente, pero tiene ejemplos (ver *nota al pie*) sobre la construcción de la ciencia que son muy útiles y pedagógicos.

II.1. Actividad 1: Las religiones y filosofías antiguas siempre han tenido teorías cosmogónicas de creación del mundo. Discute cuánto se aproxima la recogida en el libro del Génesis de la Biblia con la que actualmente defiende la Física: Teoría del “Big Bang”.

II.1. Actividad 2: ¿Qué diferencia hay entre cosmogonía y cosmología? Realiza un trabajo en grupo distinguiendo ambos términos.

II.2 Espacio y tiempo: Big Bang y final del Universo

Para estimular el debate sobre dos de las teorías cosmológicas más importantes del siglo XX, la teoría del “Big Bang” y la hipótesis del “estado estacionario”, no se nos ocurre mejor manera que enfrentarlas:

Primero, volvemos a hacer uso de la novela gráfica “Cosmicómic”. En Balbi y Piccioni (2014, pp. 93-100) se plantea la “Teoría del estado estacionario”, que requiere la “creación continua de materia en el universo”. Esta hipótesis se reveló errónea, pero da pie a debatir con los alumnos y a que puedan percibir el desarrollo irregular de la ciencia. En el **VII.3 Anexo III** se recogen las páginas donde se plantea de forma dramatizada y dialéctica –en una conversación dialogada a tres– esta errónea pero sugerente hipótesis para uso y debate dirigido con los alumnos.

- Lectura (completa o extractada) de “Cosmicómic” (Balbi y Piccioni, 2014; ver VII.3 Anexo III) y de un fragmento (Imagen II.2) de la obra de Fred Hoyle “El Universo: Galaxias, Núcleos y Quasars”¹²⁰:

La idea de que cada partícula de materia pudo haber tenido un origen separado lleva al concepto del estado-estable del universo. La expansión del universo debe causar que la densidad de la materia disminuya conforme el tiempo avanza, a menos que aparezca nueva materia, en cuyo caso sería posible que el efecto de expansión fuera compensado por el de «creación». Las distancias entre galaxias aumentarían con la expansión, de suerte que la densidad de las galaxias debería también disminuir, a menos que se estuvieran formando constantemente nuevas galaxias con el material recientemente creado. Este nuevo concepto de un universo en estado-estable conduce, por lo tanto, a la necesidad de que se formen nuevas galaxias en todo tiempo. (...)

Imagen II.2

En segundo lugar, para ver el enfrentamiento –dialéctico y empírico– entre ambas teorías, se puede ver la película producida por la BBC, “Hawking”.

¹¹⁹ Recomendamos las escenas de “Ágora” sobre el geocentrismo aristotélico (<https://www.youtube.com/watch?v=kC4fvxWxDH8>) y el movimiento elíptico de la Tierra alrededor del Sol (<https://www.youtube.com/watch?v=DNo-0By5384>), aparte de la escena en el barco donde se ve patente el principio de relatividad de Galileo (<https://www.youtube.com/watch?v=Feafh9RvQVA>). [Consultas del 24 de junio de 2015.]

¹²⁰ Hoyle (1967, p. 94).

- Proyección de la película producida por la BBC “Hawking” (“*Hawking*”, Philip Martin, 2004) y debate.

Se pueden tomar dos clips de vídeo de la película: un primero del enfrentamiento entre Fred Hoyle y Stephen Hawking, en torno al minuto 48: <https://youtu.be/pUt62wltOdc?t=2888> y otro alrededor de la hora y 22 minutos hasta el final de la película, donde se muestran una serie de diálogos y planteamientos de lo que significa el “Big Bang” y lo que implica la radiación de fondo de microondas para esta teoría: <https://youtu.be/pUt62wltOdc?t=4917> [Consulta de los vídeos del 24 de junio de 2015.]

Tras las anteriores actividades de contextualización, los alumnos deberían haber asimilado las líneas gruesas de ambas teorías con cierto detalle, por lo que proponemos una actividad final que unifique y sirva para comprobar la comprensión de los conceptos.

II.2. Actividad 1: Debate y comentario por grupos de las ideas de “Big Bang” y “teoría del estado estacionario”.

II.2. Actividad 2: Busca mitos sobre la creación o destrucción del Universo y analízalos científicamente¹²¹.

II.3 Sistema solar y otros planetas

Son posibles muchísimas actividades en este apartado. Nosotros sólo dejamos indicadas algunas, ya que insistimos en que sólo estamos pretendiendo un esbozo de tareas posibles complementarias a la impartición convencional del temario. También, a mitad de II.3.1 Planetas habitables, agregamos una pequeña reflexión a modo de Interludio.

II.3.1 Planetas habitables

Como hemos podido ver en multitud de películas y libros (bien ciencia ficción o realistas científicamente), el vacío del espacio exterior resulta sumamente hostil¹²², pero también lo son otros astros por multitud de razones. Esta complejidad de factores en juego cuando se estudian otros planetas puede contextualizarse mejor si hay una implicación emocional, aunque sea ficticia: valorar las condiciones de habitabilidad.

En este *subapartado* proponemos un texto de Stephen H. Dole (1968) que trata sobre las condiciones gravitatorias que debe tener un planeta para que pueda soportar la vida humana. Se pueden tomar otros condicionantes, pero éste puede visualizarse mejor por estudiantes con una formación científica menos especializada. Además, puede servir para proponer una actividad basada en *escenarios* al estilo del “Proyecto PROFILES¹²³” o *contextualizada* al estilo “Salters Horners”¹²⁴ sobre el tema, y acostumbrarles al estudio de un problema abierto y al uso de bibliografía.

¹²¹ Como ejemplo, se podrían realizar trabajos sobre, tomando de la mitología de la India, los ciclos de Vishnú, cuyo exhalación crea el Mundo, que es inhalado al final de cada ciclo (Bergua 1979, Tomo II, p. 163), comparando con una hipótesis de Hoyle (1967, p. 87) de un universo cíclico, “*un universo no sólo sin fin, sino también sin principio*” (p. 87). Muchas posibilidades se abren para esta actividad.

¹²² Algunos ejemplos pueden ser las películas “Atmósfera cero” (“*Outland*”, Peter Hyams, 1981) o “Apolo 13 (Apolo XIII)” (“*Apollo 13*”, Ron Howard, 1995).

¹²³ “Proyecto PROFILES: <http://www.profiles.uva.es/> Ver ‘Recursos’ en **VIII. BIBLIOGRAFÍA VIII.3 Recursos web**. Un libro con artículos amenos y frescos que puede servir para inspirar *escenarios* atractivos es Naukas (2013).

¹²⁴ Agradecemos al Tutor del presente TFM, Carlos del Ser Fraile, el habernos puesto sobre la pista de este interesante método de trabajo docente. Ver ‘Recursos’ en **VIII. BIBLIOGRAFÍA VIII.3 Recursos web**.

- Lectura y debate del subcapítulo 'Gravedad' (*Imágenes II.3.1 (I)*) de "Planetas habitados"¹²⁵:

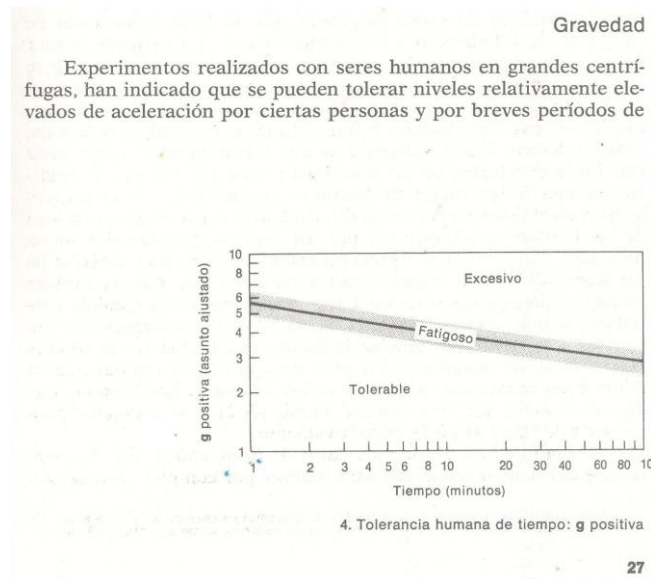


Imagen II.3.1 (I. 1/4)

Tabla 1

Tiempo requerido en segundos para trasladarse 2,28 m según varias aceleraciones impuestas

<i>g</i>	1,00	1,41	2,24	3,16	4,12
Sujeto más fuerte	1,16	2,88	5,60	9,16	18,15
Sujeto más débil	1,85	7,11	14,85	21,83	...
Promedio de cinco sujetos	1,51	4,88	9,36	15,80	...

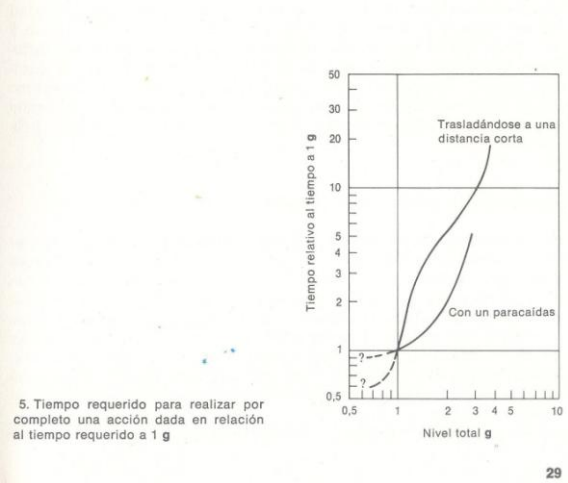
tiempo sin producir daño permanente. Por ejemplo, según se indica en la figura 4, las aceleraciones del orden de 5 *g** (cinco veces el nivel normal de gravedad en la superficie de la Tierra) se pueden tolerar por un hombre sentado sin utilizar un *traje contra desvanecimientos* durante unos dos minutos sin sufrir una ceguera repentina (pérdida de visión originada por un flujo inadecuado de sangre al nivel de los ojos). Una aceleración de 4 *g* se puede tolerar durante unos ocho minutos, mientras que aceleraciones de 3 *g* se han tolerado por tiempos hasta de una hora por algunos sujetos, en varias sesiones experimentales (Miller y otros, 1958). Sin embargo, los sujetos estaban sentados o inmovilizados; no estaban paseando, o dicho de otro modo, actuando de una forma habitual como cada día. En la conclusión de los experimentos de 3 *g*, los sujetos registraron una fatiga muscular bastante pronunciada. Otros experimentos efectuados en 1947 en la Clínica Mayo dan, al menos, una idea de las limitaciones impuestas por los campos gravitatorios incrementados (Code y otros, 1947). En estos experimentos, cinco sujetos humanos fueron cronometrados para ver con cuánta rapidez podían trepar, gatear o reptar hasta el extremo de la góndola centrífuga, a una distancia de 2,28 m, bajo varias aceleraciones impuestas. Los resultados quedan indicados en la tabla 1. Los sujetos fueron también cronometrados para ver con cuánta rapidez podían ponerse un paracaídas normal a varios niveles *g*. Los tiempos medios requeridos por tres sujetos fueron 17, 21 y 41 segundos para niveles *g* de 1,00, 1,41 y 2,24 respectivamente.

Trazando en un gráfico los datos de promedio (v. fig. 5) sobre la base del tiempo requerido para realizar por completo una acción

* La letra *g*, como indicativa de gravedad, la usaremos en cursiva, a fin de distinguirla de la abreviatura de gramos (*g*), que emplearemos en redondo, como es norma. (*N. del E.*)

dada en relación al tiempo empleado a 1 *g*, se puede ver que el tiempo relativo depende del tipo de acción. Sin embargo, se puede llegar a la conclusión de que el trabajo requerido para ejecutar varias acciones se vuelve excesivo por encima de 2 *g* aproximadamente.

Los experimentos con animales han señalado conclusiones similares. En la universidad de California, Smith y otros han criado polluelos en centrífugas durante largos períodos de tiempo (Tobias y Slater, 1962). Estos polluelos podían sobrevivir a una sesión prolongada de aceleraciones hasta 4 *g*, pero perdían peso a menos que la aceleración fuera menor a 2,5 *g*. En estos campos gravitatorios, la velocidad del corazón se incrementa y la de la respiración decrece. La duración de la vida de los animalillos parece también decrecer con las fuerzas gravitatorias superiores a 2 *g*. Algunos ratones mostraron duraciones de vida incrementada a 1,5 y 2 *g* (v. Wunder y otros, 1962). Tanto las plantas como los insectos pueden tolerar niveles *g* extremadamente elevados (millares de *g*). Hay que reco-



Imágenes II.3.1 (I. 2/4, izquierda; I. 3/4, derecha)

¹²⁵ (Dole 1968, pp. 27-30).

nocer, sin embargo, que los experimentos de centrifuga, con sus velocidades angulares necesariamente elevadas y psicológicamente perturbadoras, no reproducen fielmente el campo gravitatorio lineal de un planeta masivo.

Contando con los datos disponibles, se puede llegar a la conclusión de que poca gente elegiría vivir en un planeta donde la gravedad superficial fuera mayor de 1,25 o 1,50 *g*. Es cierto que muchas personas que tienen un sobrepeso de 25 a 50 % hacen vida muy normal y se las ingenian para realizar tanto o más que muchas personas cuyos pesos se aproximan más a los normales, según sus alturas y edades. Por otra parte, también es generalmente cierto que la actividad física es más agotadora para la gente que lleva excesiva carga de grasa. El sobrepeso, por supuesto, no se puede igualar al incremento de *g* sobre una base de uno a uno, pero la relación nos puede dar una noción del comportamiento probable de los seres humanos que vivan en planetas con aceleraciones gravitatorias más grandes que la de la Tierra.

No parece que haya un límite gravitatorio inferior correspondiente en las tolerancias de los seres humanos; esto es, no hay evidencia concluyente de que se requiera cierto nivel de gravedad *de por sí* para su funcionamiento fisiológico normal. De la figura 5 se puede inferir que las actividades en campos de gravedad reducida emplearían algo menos de tiempo (y de energía) que en campos de 1 *g*. Se pueden esperar más datos sobre esto en un futuro próximo por medio de los programas de vuelos espaciales tripulados por el hombre que están ahora proyectados y en realización progresiva.

Imagen II.3.1 (I. 4/4)

Si añadimos el visionado de una película como “Desafío total” (1990), que contenga problemas derivados de una hipotética colonización futura de Marte, con sugerentes asuntos de reflexión sociológica y científica –como el suministro y escasez de oxígeno, o la minería espacial¹²⁶–, puede resultar en un debate rico y provechoso humanística y éticamente.

- Proyección de la película “Desafío total” (“*Total Recall*”, Paul Verhoeven, 1990).

Interludio sobre la evolución de nuestra especie, la ciencia y la técnica:

Hay muchos libros posibles relacionados con estas temáticas (especialmente las tratadas en las subsecciones II.3.1-3, muy interrelacionadas entre sí). Sólo por mencionar a vuelapluma, podemos preocuparnos de las consecuencias sociales, científicas y demás mediante el diseño de muchos “escenarios de futuro” (Clarke 1967, Vasilíev y Gúschev 1971 o Asimov 1986), sobre medio ambiente o energías (ver al multidisciplinar Vaclav Smil 2001 y 2003), energía nuclear (Cohen 1977), analizando la colonización espacial (O’Neill 1981), el llamativo y un tanto manido debate sobre la posibilidad de viajar en el tiempo (Gribbin 1993), contacto con otras civilizaciones (Lunan 1977¹²⁷), etc. También se presta a hablar de las limitaciones y devenir del Ser Humano (el original Yuval Noah Harari 2014), lo posible y lo imposible (Kaku 2012 o el siempre interesante Barrow 1999), o el azar y la incertidumbre (Taleb 2006 y 2011).

La historia de la ciencia, la técnica y los descubrimientos también puede servirnos para contextualizar la materia a impartir (y a nosotros mismos como civilización mediante su lectura y reflexión). La “Cronología de los descubrimientos” de Asimov (1990) o Bernal (1967) son material notable para un vistazo general, aunque sugerimos además las pequeñas y amenísimas biografías de Cottler y Jaffee (1981), pues dotan de humanidad a los personajes¹²⁸ de la historia.

¹²⁶ La minería espacial es un tema medianamente recurrente, sale en “Atmósfera cero” (“*Outland*”, Peter Hyams, 1981).

¹²⁷ Lunan (1977) es interesante para encontrar material para contextualizar y construir escenarios, aunque contemporiza con argumentos pseudocientíficos. No obstante, este tipo de libros (y aún más exagerados) tienen cierta poética que puede ayudarnos como docentes si la canalizamos bien, incluso cabría remitirse a *1.5 Pseudociencia, fraudes, desvíos y riesgos de la ciencia*.

¹²⁸ Álvarez Sánchez (1983) puede utilizarse para consultas rápidas y breves de biografías de científicos.

II.3.1. Actividad 1: ¿Qué actividades humanas se podrían realizar (o se dejarían de realizar) por el cambio de la gravedad? Debátase sobre ello, tras observar (Imágenes II.3.1 (II)) las siguientes ilustraciones¹²⁹:

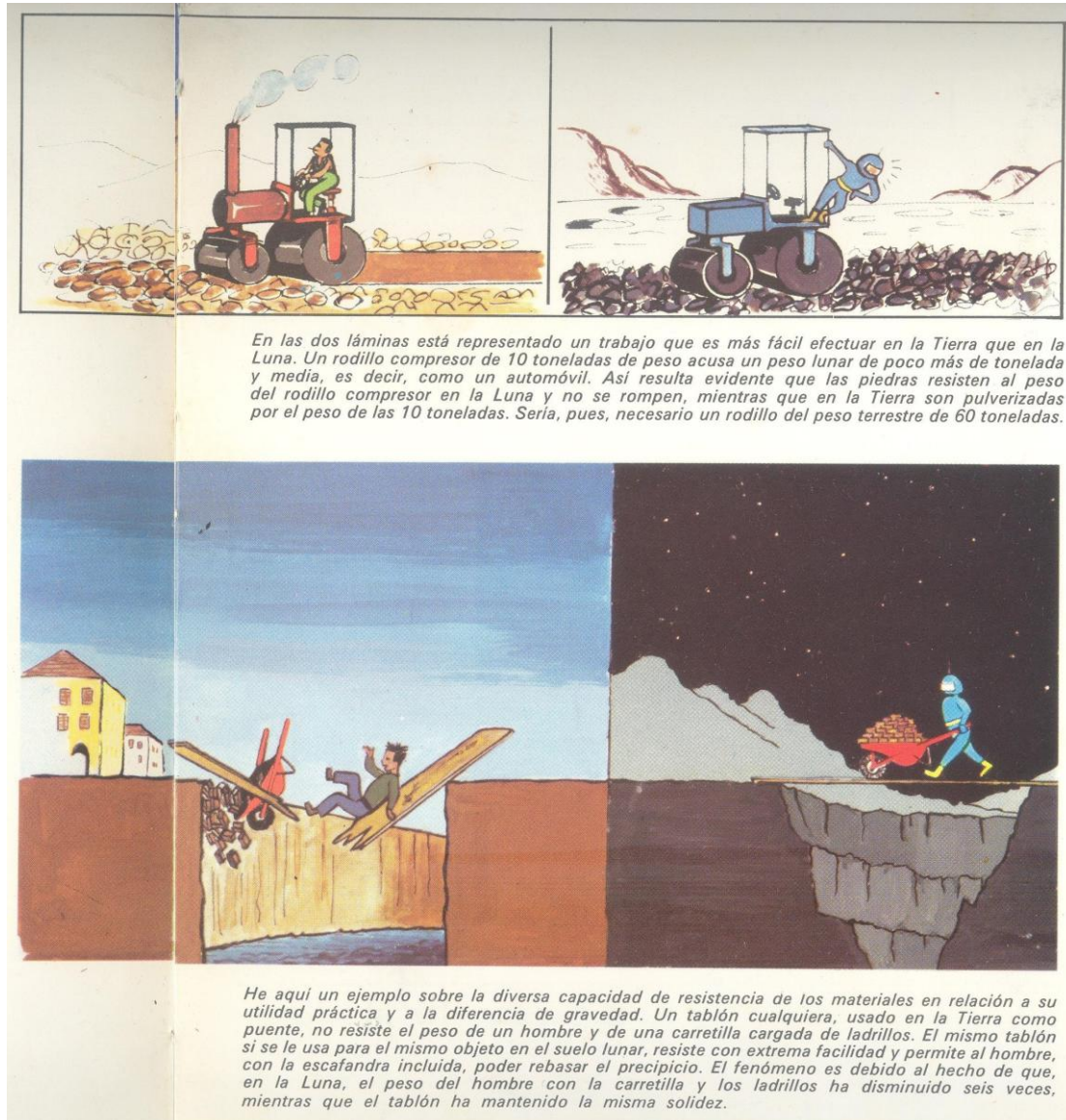


Imagen II.3.1 (II)

II.3.1 Cuestión 1: ¿Qué más factores pueden incidir en la habitabilidad humana de otros cuerpos celestes?

II.3.1 Actividad 2: Planteamiento de una actividad de aprendizaje por escenarios o contextos¹³⁰ como “¿Cómo diseñarías reglas deportivas en otros planetas o lunas?”¹³¹

¹²⁹ Ilustraciones extraídas de Brenna (1975), un libro antiguo, con preciosistas ilustraciones, pero desfasado en los datos (aunque precisamente en ello reside su encanto). Ver también Ardley y Ridpath (1979).

¹³⁰ Al modo del Proyecto PROFILES o “Salters Horners”, como hemos indicado arriba. Ver inicio del subapartado II.3.1 Planetas habitables del índice propuesto.

¹³¹ Mínguez y Rey (2015).

II.3.2 Investigación científica y exploración espacial

En el *subapartado II.3.1 del índice propuesto* hemos podido ver como con películas como “Desafío total” (1990) y “Atmósfera cero” (1981) se pueden constatar ciertas implicaciones que puede tener la exploración espacial y debatir acerca de consecuencias, retos y peligros de la misma, a la vez que imbuir la idea de que los defectos del Ser Humano no tienen solución con el mero progreso técnico.

Adrian Berry en el *subapartado I.5 del índice propuesto* nos sirvió para detenernos en estas reflexiones, pero adoptemos ahora una visión más optimista de la investigación científica y su utilidad práctica en general (en el fragmento que aportamos) y la exploración espacial en particular (a lo largo de toda la obra que reseñamos y recomendamos a continuación) con un fragmento de la novela corta “El hombre que vendió la Luna” del gran clásico de la literatura de ciencia ficción Robert A. Heinlein.

- Lectura de “El hombre que vendió la Luna” (Imagen II.3.2) de Robert A. Heinlein¹³²:

Cuando salieron de su oficina conjunta, Strong, siempre consciente del valor del dinero, tuvo buen cuidado de apagar la luz. Harriman se lo había visto hacer centenares de veces; esta vez comentó:

—George, ¿qué opinarías de un interruptor que apagara automáticamente la luz cuando uno sale de la habitación?

—Humm... podríamos arreglarlo de modo que permaneciera conectado siempre que hubiera *alguien* en la habitación... que fuera sensible a las radiaciones del calor del cuerpo humano por ejemplo.

—No necesariamente. Le pasaré la idea a Ferguson para que se entretenga con ella. No tendría que ser más grande que un interruptor normal, y lo suficientemente barato como para que la energía ahorrada en un año lo amortizara.

—¿Cómo funcionaría? —preguntó Strong.

—¿Y cómo quieres que lo sepa? Yo no soy ingeniero; eso corresponde a Ferguson y a los demás chicos listos.

—No me parece bueno comercialmente —objetó Strong—. El apagar la luz cuando sales de una habitación es algo temperamental. Yo lo hago; tú no. Si un hombre no lo hace, nunca podrás interesarle en ese interruptor.

—Podré, si la energía continúa racionada. Actualmente hay escasez de energía; y pronto habrá más.

—Sólo temporalmente. Esta reunión arreglará las cosas.

—George, nada hay en este mundo más permanente que una emergencia temporal. El interruptor se venderá.

Strong tomó un bloc de notas y una estilo.

—Hablaré mañana con Ferguson al respecto.

Harriman olvidó el asunto, nunca volvió a pensar en él. Habían llegado al tejado; hizo una seña a un taxi, luego se giró hacia Strong.

Imagen II.3.2

Conviene proyectar películas de éxito que estimulen el debate sobre astrofísica, la exploración espacial y sus consecuencias. “Interstellar” es una de ellas.

- Proyección de la película “Interstellar” (“*Interstellar*”, Christopher Nolan, 2014) y debate.

Este *subapartado II.3.2* se presta mucho a la contextualización CTS o STEAM, pudiéndose utilizar para extraer muchas ideas para aprendizaje por proyectos. Lo dejamos abierto a la imaginación del docente, que puede idear múltiples actividades con los conceptos que venimos sugiriendo y apuntando.

II.3.2. Cuestión 1: ¿Qué relaciones estimas que existen entre ciencia, tecnología, sociedad y economía?

II.3.2. Cuestión 2: ¿A quién consideras más importante, al científico o al empresario?

¹³² Heinlein (1980, Tomo 1, p. 152).

II.3.3 Especulaciones sobre vida en otros planetas

No nos circunscribimos a describir la posibilidad de vida extraterrestre y las consecuencias que tendría para la Humanidad en caso de contactar con ella, sino cómo se desarrollaría la nuestra de extendernos nosotros como especie por el espacio exterior. Conviene analizar y hacer ver las previsible escasas probabilidades de coincidir con vida extraterrestre inteligente –suponiendo su existencia– habida cuenta la amplitud del universo en espacio y tiempo, y así introducir una idea de las magnitudes de las que se habla. Se entiende que los *subapartados* II.3.1, II.3.2 y II.3.3 están íntimamente relacionados y pueden combinarse de manera natural.

Procuramos, a modo de curiosidad y para lograr despertar el interés del alumnado, usar un texto¹³³ de Bernard Le Bouvier de Fontenelle, que vivió casi un siglo (1657-1757), a falta de un mes y dos días, lo que puede ser recordado para lograr una mayor atención.

En esta obra se dialoga sobre múltiples cuestiones científicas de la época, pero las erradas especulaciones de los participantes en estos diálogos científicos pueden ser usadas para estimular un debate fresco y animado sobre la vida en otros planetas, al mismo tiempo que se enseña a los alumnos puntos de vista de la época en que fue escrita esta obra clásica, pero un tanto desconocida, de la divulgación científica.

- Lectura de “Coloquios sobre la pluralidad de los mundos” (*Imágenes* II.3.2) de Fontenelle:

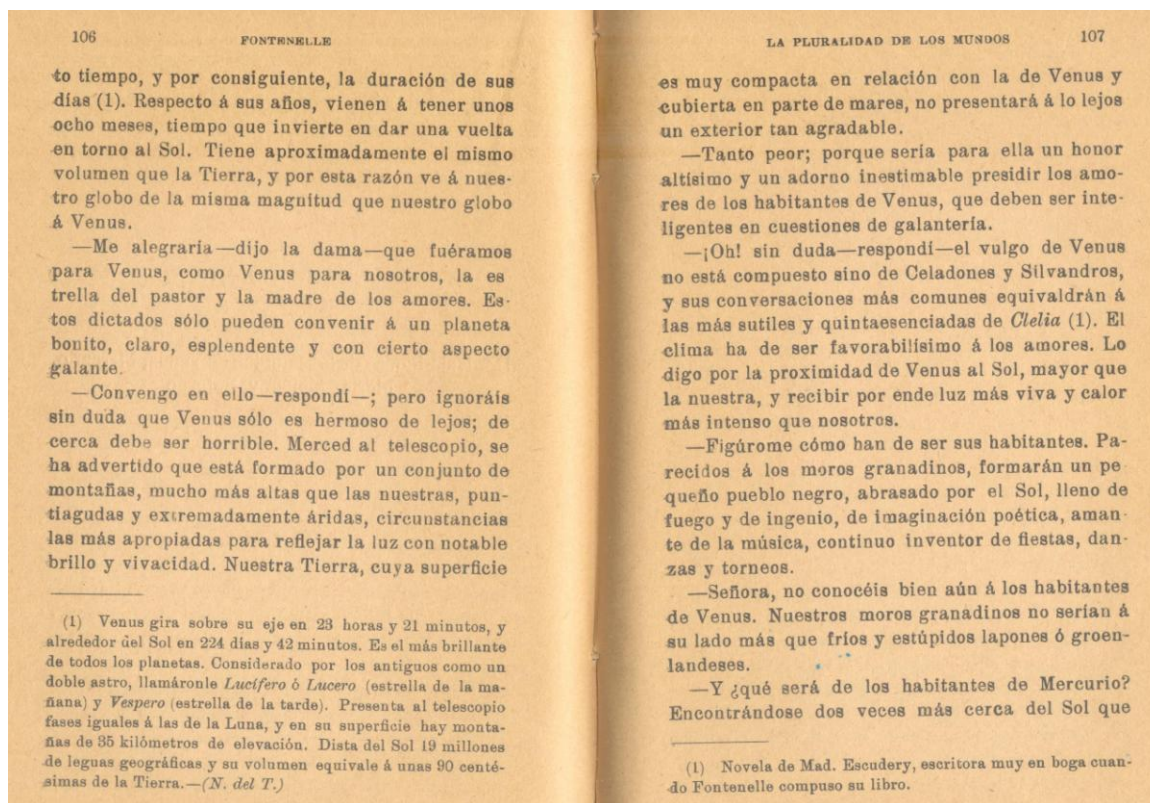


Imagen II.3.2 (1/2)

¹³³ Tomamos en este TFM un escaneado de Fontenelle (1910, pp. 106-109), “Coloquios sobre la pluralidad de los mundos”, editados por Prometeo, por una veleidad bibliófila; pero también se puede acceder a otra traducción del mismo texto en Fontenelle (1982, pp. 125-128), “Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos” (vemos que la traducción del título cambia de “Coloquios” a “Conversaciones”), editadas por la valiosa y ahora desgraciadamente desaparecida Editora Nacional. Tenía un catálogo excelente que convendría recuperar.

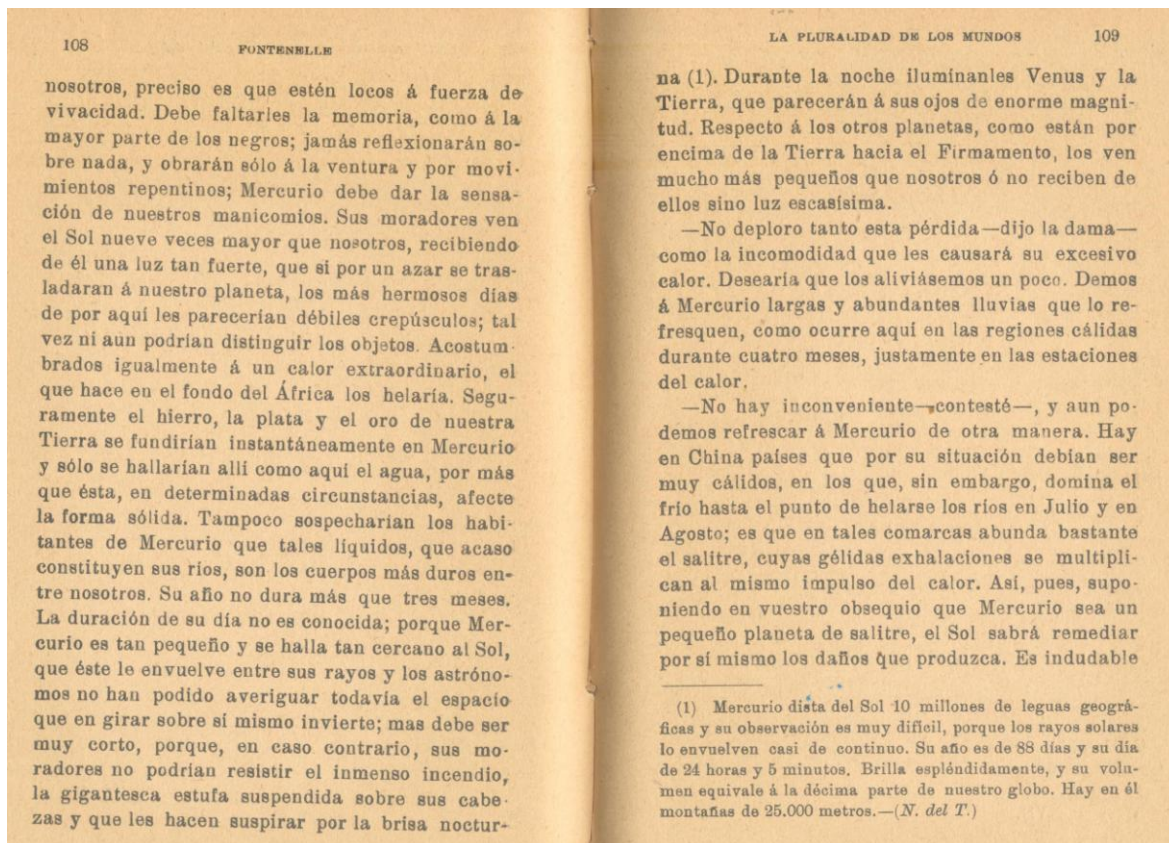


Imagen II.3.2 (2/2)

Se pueden usar también películas como “2001: Una odisea en el espacio” para alentar un enfrentamiento dialéctico entre los alumnos.

- Proyección de la película “2001: Una odisea en el espacio” (“2001: A Space Odyssey”, Stanley Kubrick, 1968) y debate. [Sustituible o complementable por “Contact” (“Contact”, Robert Zemeckis, 1997) o por la tertulia “Otros mundos, otras vidas” de la recordada “La Clave”.]

En ambos casos es aconsejable la consulta de las novelas en que se basan ambas películas: “2001: una odisea espacial” de Arthur C. Clarke (1985) y “Contact” del divulgador Carl Sagan (2001)¹³⁴.

III.3.3 Cuestión 1: ¿Piensas que hay vida inteligente en otros planetas¹³⁵? ¿Cómo te imaginas esa vida?

III.3.3 Cuestión 2: ¿Qué presupuestos incorrectos y errores científicos estaremos cometiendo en la actualidad? Busca información sobre la “materia” y la “energía oscura” y debate sobre ello con tus compañeros.

Y con esto ultimamos el esbozo de *índice propuesto* de la Unidad Didáctica “doble” (suponen dos bloques) y los materiales bibliográficos y audiovisuales que proponemos de ejemplo para la asignatura de “Cultura Científica”. Fin del apartado V.1 del TFM.

¹³⁴ La serie de documentales televisivos “Cosmos” de Carl Sagan es ideal para propósitos divulgativos. Un clásico absoluto.

¹³⁵ Se podría usar, “Si hay otros mundos”, una de las “Cartas eruditas, t. II, carta 26” de Benito Jerónimo Feijoo (1984, pp. 233-240).

V.2 Algunas analogías y modelos en Física

V.2.1 Uso de analogías y modelos. Diseño de una clase: campo gravitatorio

En la práctica, la experiencia de enseñanza-aprendizaje suele realizarse de forma magistral –aún pudiendo incluir “aprendizaje dialógico” o “dialéctico”–, centrándose en los contenidos marcados por la legislación. Pero pensamos que se puede tratar de introducir contextualización histórica de la ciencia en momentos concretos de la lección, sirviendo para dotar de cultura científica amplia (no sólo conocer los conceptos, sino su procedencia) y una mayor comprensión. Encuadraría además como una “*habilidad docente básica*”¹³⁶ para presentar de forma más atractiva la materia.

El uso de modelos es habitual en Física, tanto para comprender los conceptos como para contextualizarlos históricamente, y son “herramientas” usadas por científicos y alumnos para asir mejor la materia¹³⁷. Esto se puede vislumbrar en **IV.2 Breve panorámica** cuando se distinguen, por ejemplo, entre el modelo geocéntrico de Ptolomeo y el heliocéntrico de Copérnico. Estos modelos deben reproducirse en las explicaciones en clase para lograr un mejor entendimiento, aunque como vienen en múltiples libros de texto no consideramos original reproducirlos meramente.

El uso de analogías y situaciones para contextualizar –contextualización que no tiene por qué ser sólo histórica o filosófica, sino *conceptual y metodológica*, como va a ocurrir en esta *subsección V.2*, sirviendo para situar las ideas– y así aprender los conceptos se podría realizar con las clásicas leyes del movimiento (Newton 1945, p. 13-19) mediante la proyección de escenas de películas como “Gravity” (“Gravity”, Alfonso Cuarón, 2013), cómics de “Tintín” del dibujante Hergé (1986 y 1999), o con fragmentos de Julio Verne (1969), donde el perro muerto¹³⁸ que tuvieron que lanzar por la borda (Verne, cap. V) “acompaña” a los tripulantes en su travesía (descubren este hecho al final del capítulo VI y se explica en el VII), merced de la Primera Ley de Newton. En definitiva, múltiples ejemplos son posibles, pero diseñaremos unas analogías en concreto –con posibilidad de discusión para un aprendizaje dialógico– que engarzaremos a modo de *clase hipotética* de Física de 2º Bachillerato¹³⁹, llevándolo al ámbito de las propuestas didácticas que podrían realizarse en la práctica¹⁴⁰.

¹³⁶ Muchas “*habilidades docentes básicas*” vienen recogidas en Román, Carbonero, Martín-Antón y De Frutos (2010) o en Román Sánchez, Sáiz Manzanares, Alonso García y De Frutos Diéguez (2013) y las usaremos en esta sección.

¹³⁷ Raviolo, Aguilar, Ramírez y López (2011, pp. 68-69) concluye que “[m]uchos estudiantes evidenciaron comprender que un modelo puede ser utilizado como una herramienta de investigación con las finalidades de describir, explicar y predecir, que es una construcción humana creativa que da respuesta a un problema. Esto implicaría un avance en la superación de la visión empirista, que admite que la ciencia avanza sólo como fruto de la experimentación en una forma acumulativa”.

¹³⁸ Herido gravemente por un choque con la parte superior del proyectil a causa del retroceso (Verne 1969, cap. III, pp. 209-2010), que también nos puede servir para usar como “escenario” o pregunta para tratar de asimilar la Primera Ley de Newton. Cabe añadir que Verne (1969) tiene numerosos textos extractables de utilidad didáctica para comentar y debatir, como un fragmento en que intentan medir la temperatura de los “*espacios planetarios*” (Verne 1969, pp. 297-298).

¹³⁹ No recogemos –como sí hacíamos para “Cultura Científica” en el **VII.1 Anexo I**– los contenidos, criterios, etc., ya que es una asignatura más convencional y basta con ayudarnos por los diversos libros de texto que tenemos en la bibliografía.

¹⁴⁰ Otra idea que podría dejarse como propuesta para una posible realización futura sería tomar Euler (1990, Carta CXXXIV, pp. 365-366; estas cartas son, en general, un material excelente para trabajar: muy recomendables), donde realiza una analogía entre colores y sonidos, y la cuestión decimotercera de la “Óptica” de Newton (1945, pp. 117-118; las ‘Cuestiones finales’ de la “Óptica” de Newton son una pequeña joya del razonamiento hipotético que todo físico debería leer alguna vez), en que se asemejan las vibraciones de los rayos para producir “*las sensaciones de los*

Recogeremos y diseñaremos unas analogías y modelos para introducir el concepto de campo gravitatorio, a modo de lección o parte de una Unidad Didáctica, con problemas propuestos, que describiremos –tanto en contenido como intencionalidad, o cualquier otra reflexión necesaria– en el texto de la Lección propuesta a continuación:



Lección propuesta: “Campo gravitatorio: descripción energética y dinámica”.

Nota previa: Durante toda la clase (o clases, pues puede llevar entre una o varias horas, según el nivel del alumnado) se seguirá usando parcialmente diferentes “habilidades docentes básicas”, ejemplos, invitación al debate o cualquier método para ilustrar los argumentos científicos. Para ello vamos a retomar y reelaborar la “lección” aportada por el Autor del presente TFM en el trabajo colectivo Fidalgo, Mínguez, Peraita, Rey y Rodríguez (2015).

Introducción

Podemos comenzar con un intento de visualización del modelo del *espacio-tiempo einsteniano* mediante el uso de un mantel como el tejido del espacio-tiempo y una hogaza de pan y fruta de tamaños distintos haciendo el papel del Sol y la Tierra, de la misma manera en que lo hacen película “Einstein” (“*Einstein y Eddington*”, Philip Martin, 2008), recomendando su visionado.

Una vez intuida la idea y atraída su atención, se subirá a continuación a un nivel algo más técnico y así poder tantear sus conocimientos previos y poder ajustar mejor la explicación de esta parte del tema con sus posibilidades intelectuales y académicas (más o menos rápido o profundo, según se necesite).

Para ello se procederá a realizar la pregunta clásica que se hizo Newton acerca de por qué cayó la manzana sobre su pobre cabeza y, en cambio, la Luna no se estrella sobre la Tierra. Hacer ver durante una ronda de preguntas que hay una relación entre el vídeo anterior y el comportamiento orbital de la Luna. Procurar hacerles caer en la cuenta de que la manzana y la Luna son atraídas hacia la Tierra por una misma fuerza, abandonando la distinción histórica medievalizante de “mundo lunar” y “mundo sublunar”: la Luna también “cae”, pero desde tan lejos que realiza una órbita; y la manzana al caer también “orbita”, sólo que desde tan cerca que la línea curva es tan corta que la vemos como una línea recta. Aprovecharemos ahora para incidir en la comparativa de los diferentes modelos, e incorporarles la diferencia entre la mentalidad mecanicista¹⁴¹ –Newton– y la de campos –Einstein–.

La siguiente será la parte más ardua (pero más valiosa científica y didácticamente). Seguiremos principalmente el sólido libro de Vidal Fernández (2009)¹⁴². Será una clase magistral, pero procurando alejar de las convencionales, siendo inclusivos con todos los

diferentes colores” con las vibraciones “de los diferentes sonidos”, y preparar alguna actividad similar a la nuestra sobre dicha analogía y su contextualización. También se podría añadir Lucrecio (1983, pp. 167-170), sobre el origen del color. Udías Vallina (2004, p. 136) habla de Christian Huygens y su “Traité de la lumière” (1690) donde “propone que la luz está formada por ondas semejantes a las del sonido en el aire”.

¹⁴¹ Ver en este TFM: **IV.1 Aspectos generales y bibliografía útil** y **III.2.2 Modelos, analogías y metáforas**.

¹⁴² Libro del que tomamos también los cuadros, organizadores gráficos e ilustraciones, etc. de esta *Lección propuesta*, y que seguimos para definir los conceptos y descripciones (salvo las analogías que indiquemos expresamente de nuestra invención). También se puede utilizar Gisbert y Hernández (1998), “Grupo Orión” (2001) o Guadiel (2009).

alumnos, se les provocará con preguntas, recursos humorísticos o del tipo que sea para aumentar la amenidad y con múltiples organizadores gráficos¹⁴³.

Definición de “campo”

Comienzo de este apartado definiendo el concepto “**campo**”: *región del espacio en la que se aprecia el efecto de una perturbación provocada por un cuerpo que tiene una propiedad que le hace interactuar con otros cuerpos que también tienen esa propiedad.*

Los dos tipos de campo que se estudian en 2º Bachillerato son el electromagnético y el gravitatorio. Es preferible empezar por el último al ser el más intuitivo y el que hemos percibido en más de una ocasión de manera dolorosa contra el suelo.

En el apartado de la “fuerza gravitatoria” hemos visto que todo objeto con masa desarrolla a su alrededor un “campo gravitatorio” que atraerá a otros objetos. Al comienzo de esta clase hemos hecho un intento de visualización de la curvatura del espacio-tiempo que provoca la fuerza gravitatoria.

Dos descripciones: dinámica y energética

Este “**campo gravitatorio**” puede tener dos descripciones: una “*dinámica*” que da cuenta de cómo se mueven los objetos en campos de este tipo y que necesita un tratamiento *vectorial* (con “flechitas”), y otra descripción “*energética*” que trata el problema con este punto de vista necesariamente *escalar*.

Concepto de vector: analogía del ‘lápiz y el tubo’¹⁴⁴

Conviene recordar aquí¹⁴⁵ la diferencia entre “vectorial” y “escalar” por si los alumnos no han dado previamente en la asignatura de Matemáticas este concepto, e igualmente refrescarlo ya que el aprendizaje es como un barnizado donde la repetición asienta y profundiza el conocimiento “por capas”. Usamos la analogía del “LÁPIZ Y EL TUBO”:

- Una *magnitud vectorial* es aquella que viene expresada por un “*vector*”, compuesto de tres elementos: módulo, dirección y sentido. Es decir, una “flechita” (tomar en la mano el ejemplo de un LÁPIZ) que tiene un tamaño, una longitud –el módulo–. El lápiz está situado en el interior de un tubo o tubería fija: una recta fija en el espacio –con la mano fijamos el lápiz en el espacio, semejando con las manos que se encuentra en el interior de un tubo, siendo éste la dirección–. Esta recta con forma de “TUBO” tiene dos sentidos posibles como si de una “línea de metro” se tratara –el sentido–. Con esto, haciendo uso de un lápiz y las manos, refrescamos el concepto de “vector”: una magnitud numérica que se tiene un punto, dirección y sentido de incidencia (por ejemplo, una fuerza, que puede ser de un grado pero desarrollada en un sentido u otro: no es lo mismo empujar una mesa con una fuerza de 2 Newtons hacia la derecha que hacia la izquierda).
- Una *magnitud escalar* es aquella que viene expresada solamente por un número y una unidad de medida. Un ejemplo es la temperatura, que viene dada por la temperatura y la

¹⁴³ Resulta deseable consultar Perales Palacios (2008) sobre el uso de imágenes en la enseñanza de las ciencias.

¹⁴⁴ Este apartado sobre el concepto de lo vectorial es opcional, pero necesario la mayoría de las veces al comprobar que bastantes alumnos no tienen bien asentados los conocimientos previos.

¹⁴⁵ El ejemplo del “LÁPIZ Y EL TUBO (o la tubería)” aquí planteado es de cosecha propia y comprobado eficaz en el ámbito de las clases particulares por el Autor del TFM.

escala que se use (Celsius, Kelvin, Fahrenheit, etc.), pero no tiene una dirección hacia la que se desplace.

Distinción entre las dos descripciones del campo gravitatorio

Tras este paréntesis para explicar el concepto de “vector”, se indican las dos **descripciones de “campo gravitatorio”** de que se dispone en la literatura: la dinámica y la energética.

La intensidad de campo \mathbf{g} y la fuerza gravitatoria \mathbf{FG} son magnitudes vectoriales¹⁴⁶ que *describen dinámicamente* el campo gravitatorio. El potencial V y la energía potencial E_p son magnitudes escalares que lo *describen energéticamente*. Advertimos. ¡Hay que distinguir clarísimamente de Potencial y Energía Potencial! No son el mismo concepto, por eso se adjunta el siguiente cuadro¹⁴⁷:

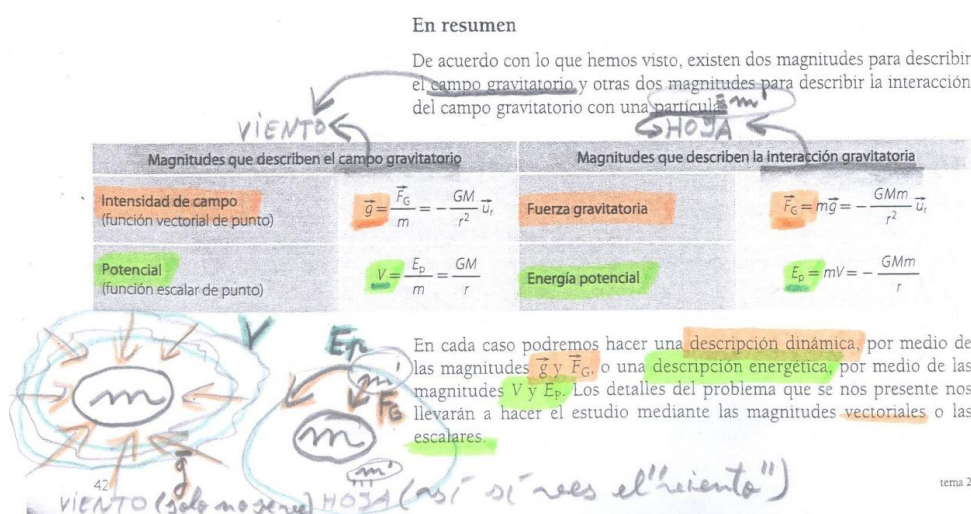


Diagrama V.2.1

Distinción entre campo e interacción: analogía del ‘viento y la hoja’

Uso de una analogía para distinguir “campo gravitatorio” (izquierda de la gráfica anterior) de “interacción gravitatoria” (derecha) el del “VIENTO Y LA HOJA”¹⁴⁸:

El campo gravitatorio que generaría una masa solitaria en el universo es como el viento, pues no puede verse si no es a través de sus efectos. En el caso del viento, se puede *verlo* o constatar su presencia y fuerza con un árbol combándose bajo sus efectos o el oscilar de una bandera. La interacción gravitatoria sólo se percibe con un segundo cuerpo que se vea afectado por el campo gravitatorio del primero, es decir, por ejemplo, por una hoja de árbol que es mecida o deslizada por la acción de una invisible brisa o viento.

En la siguiente ilustración¹⁴⁹ se contempla de un solo golpe de vista el “campo gravitatorio”, ya sea en la representación dinámica con las líneas “con flechitas” (vectoriales) de

¹⁴⁶ Aquí las **negritas** indican magnitud vectorial (en la pizarra con “flechita” encima), *sin negrita* las escalares.

¹⁴⁷ Diagrama V.2.1, Vidal Fernández (2009, p. 42), modificado por nosotros.

¹⁴⁸ Otro ejemplo de nuestra propia invención, contrastado empíricamente en clases particulares por el Autor; aunque se podrían usar las típicas limaduras de hierro y un imán.

¹⁴⁹ Diagrama V.2.2, Vidal Fernández (2009, p. 46).

intensidad de campo, o en la representación energética con las líneas curvas cerradas (escalares) que indican los diferentes niveles de potencial:

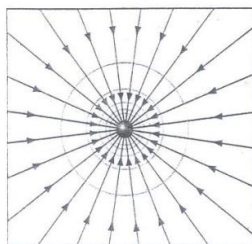


Figura 2.24. Líneas de campo y superficies equipotenciales del campo creado por una sola masa.

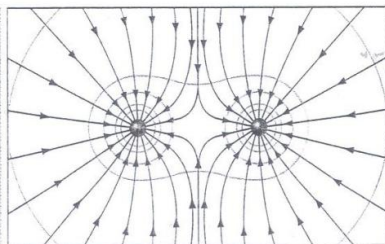


Figura 2.25. Líneas de campo y superficies equipotenciales del campo creado por dos masas iguales.

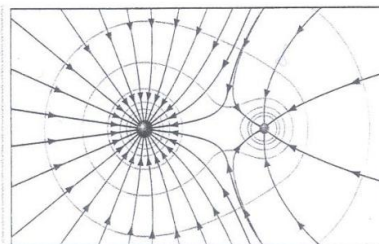


Figura 2.26. Líneas de campo y superficies equipotenciales del campo creado por dos masas, donde una masa es el doble que la otra.

Diagrama V.2.2

Concepto de Trabajo

Quedaría solamente dejar reseñadas las fórmulas de **trabajo "W"** que realiza una masa "m" para desplazarse de un punto inicial 1 a un punto final 2:

Usando energías potenciales: $W_{1 \rightarrow 2} = E_{p2} - E_{p1}$

Usando potenciales: $W_{1 \rightarrow 2} = m * (V_2 - V_1)$

Práctica

Se realizan ejercicios y problemas para afianzar los conceptos impartidos de la presente clase. Así "juegan" con los conceptos y sus implicaciones. Puede ser especialmente rico y productivo mezclar los diferentes organizadores gráficos según se van explicando los distintos conceptos, en aras de conseguir una mayor comprensión por parte del alumnado. Pero esto ha de ser siendo flexible y haciendo uso de la empatía y habilidades docentes. Cada alumnado es diferente y debemos adaptarnos a él para ayudarles a aprender, no ser rígidos profesores dogmáticos.

Problemas 'tipo'

Dos "problemas tipo" con los dos tipos de representaciones, la *energética* y la *dinámica*. Se sigue Vidal Fernández (2009) en el presente apartado:

- *Energética*, escalar, con potencial V y energía potencial E_p . Ejercicio resuelto 5 del capítulo 2 (p. 42).

- *Dinámica*, vectorial, con intensidad de campo g y la fuerza gravitatoria FG . Ejercicio resuelto 6 (pp. 43-44).

Se trata de explicarlo con la debida atención, para hacer efectivo el eslogan de la famosa ley y que verdaderamente *ningún niño se quede atrás*¹⁵⁰.

Ejercitación en casa

Al acabar la clase, planteamos un par de ejercicios similares para practicar en casa: Cuestiones 1 y 2 (p. 44).

¹⁵⁰ Wikipedia, "Ley Que Ningún Niño Se quede Atrás".

V.3 Introducción a la investigación bibliográfica

V.3.1 Michelson-Morley y Einstein

Objetivo

Usando una controversia nacida de un conocido blog de internet dedicado a la divulgación científica, “La Ciencia de la Mula Francis”¹⁵¹, procuraremos diseñar una actividad en forma de pregunta: **“¿Influyó en Albert Einstein el experimento de Michelson-Morley cuando formuló su Teoría de la Relatividad?”**

Al proponer esta pregunta a los estudiantes, se les pedirá que redacten (quizá organizados en grupos) un artículo de corte académico en el que hagan uso de material bibliográfico tratando de elucidar una respuesta argumentada (no importa tanto lograr una respuesta concluyente como la seriedad de los argumentos aportados). Con ello se pretende lograr una primera aproximación de cierta solidez y rigor a la investigación científica¹⁵², la historia de la Física y su contexto. El modo de plantear la actividad y el nivel de exigencia a la hora de evaluar tendrá que ser graduado por el profesor.

Contexto

Albert Einstein¹⁵³ revolucionó la Física Moderna con su serie de artículos¹⁵⁴ de 1905, entre los cuales se encontraba postulada la teoría de la Relatividad Especial, y en 1915 cuando la refinó en la Teoría de la Relatividad General (también Relatividad Restringida). Pero siempre se ha insistido en la idea de relacionar esta Teoría con la experiencia de Michelson-Morley como una derivación histórica inmediata, aspecto que vamos a reconsiderar¹⁵⁵.

Para contextualizar y como introducción didáctica podemos usar de nuevo la novela gráfica “Cosmicomic”, de Amedeo Balbi y Rossano Piccioni (2004, pp. 34-42), para explicar en breves páginas y de forma amena la Teoría de la Relatividad de Einstein¹⁵⁶.

¹⁵¹ Villatoro (2009). Ver también Villatoro (2011).

¹⁵² Barceló (1992, p. 197): *“Investigar es, por decirlo así, resolver algún problema, contestar alguna pregunta. O, al menos, intentarlo”*. Definición que encaja totalmente con lo que queremos de los alumnos en V.3.1 Michelson-Morley y Einstein.

¹⁵³ Isaacson (2010) supone una magnífica biografía, mientras que Landau y Rumer (1980) y Barnett (1973) son dos libros de divulgación –el primero más centrado en explicar la Relatividad en sí misma y el segundo en mostrar algunos aspectos que implica–. Para una pequeña introducción matemática con demostraciones sencillas, Asimov (1979, en los ‘Apéndices’ (pp. 807 y ss.) resulta ideal, aparte de ser un tomo clásico –casi imprescindible para un adolescente curioso– en el ámbito de la divulgación científica en general.

¹⁵⁴ Einstein (2004), con traducción, introducción y notas de Antonio Ruiz de Elvira, es un excelente volumen que contiene artículos clave de Albert Einstein de 1905 y 1906. Las notas son prolifas y muy ilustrativas de cómo se manejaban –a veces con ligereza– algunos conceptos físicos, aunque subjetivamente nos resultan excesivamente críticas.

¹⁵⁵ Para “una crítica al concepto de experimento crucial”, consultar Drewes y Palma (2006).

¹⁵⁶ Sirva el siguiente link de “Fumettologica Magazine” como botón de muestra de lo que podemos encontrar en Balbi y Piccioni (2014, pp. 34-42): <http://www.fumettologica.it/galleria/cosmicomic-gli-uomini-che-scoprirono-il-big-bang/nggallery/image/028-copia/>

Algunos materiales bibliográficos

Para ayudar a resolver la duda planteada, consignamos seguidamente una serie de trabajos donde se estudia la cuestión, que pueden incluso –a elección del docente– facilitarse a los propios estudiantes:

Bunge (1983, p. 90) deshecha la importancia del experimento de Michelson-Morley en favor del estudio de teorías preexistentes y nuevos análisis por parte de Einstein durante la confección de su Teoría de la Relatividad.

En cambio, Ten Ros (1978) concluye que es “*probable*” que Einstein conociera el experimento y ayudara a fundamentar la Relatividad Restringida.

Por otro lado, leyendo a Martín del Rey y Martín del Rey (2009) se puede constatar la complejidad de la cuestión planteada, con unas conclusiones muy matizadas. Tomé López (2009), en el blog “*Experientia docet*”, también resalta las dificultades de la empresa y concluye: “*La ciencia real, igual que la historia real, no es tan sencilla, pero la idea de que el experimento de Michelson-Morley llevó directa y claramente a la teoría especial de la relatividad es algo que pertenece al folklore de Einstein desde entonces, como es fácilmente comprobable en cualquier libro de texto.*”

Como se aprecia, nos resulta complicado extraer conclusiones seguras, pero el estudio de problemas así puede ayudar a considerar la Física, su historia y su desarrollo algo más complejo y sutil de lo que habitualmente se cree¹⁵⁷. Tras leer los trabajos citados, nuestra *opinión personal* en este conflicto es que el experimento de Michelson-Morley no fue decisivo para Einstein a la hora de redactar su Teoría, pero pasado el tiempo supuso un refuerzo empírico fundamental, lo que ha llevado a algunos historiadores de la Física a la construcción de un relato parcialmente idílico para encajar con algunas concepciones mentales convencionales de “*método científico*”.

¹⁵⁷ Por aportar algunas referencias extra, puede ser interesante consultar Alemañ Berenguer (1998b) o Cassini y Levinas (2005).

VI. REFLEXIONES FINALES

Hemos propuesto y desarrollado una serie de aplicaciones de los postulados teóricos, filosóficos y metodológicos que planteamos al comienzo del TFM. Buscábamos cierta innovación educativa en aspectos como el amplio uso de textos y bibliografía –que hemos procurado que el propio TFM reflejara y se respirara en su lectura–, un pensamiento desprejuiciado y multidisciplinar¹⁵⁸, unido a una revalorización de la dialéctica, sin olvidar técnicas más habituales como las analogías o modelos.

Habría múltiples posibilidades de desarrollo e implementación, pero éstas que presentamos son sólo ejemplos que –confiamos– puedan inspirar otras en líneas parecidas. También hemos procurado que el lector pudiera empaparse de un sistema –quizá heterodoxo– para la construcción de una metodología didáctica (o, sencillamente, *modo de pensar* en general), basado en múltiples reflexiones, bebiendo de fuentes variopintas, pues estamos convencidos de que ciertas “rupturas cognitivas” son necesarias para no caer en una repetición escolástica (redundante en el mal sentido) de argumentos y métodos que acaban por caer en lo convencional o reproducidos por tradición más que por contrastada eficacia.

La propia redacción del TFM ha sido un intenso acto de reflexión, lo que tiene sus virtudes y defectos¹⁵⁹. Ya decía el que fuera Presidente de los EEUU Richard Nixon que poner las *“ideas por escrito le obliga a uno a reflexionar sobre ellas más concienzudamente. Las ideas malas o superficiales quedan casi siempre claramente expuestas en el duro contraste en blanco y negro de la palabra escrita a máquina. La lectura anula el casi hipnótico impacto de la elocuencia oratoria”* (Nixon 1990, p. 146). Imaginamos que la lectura de este texto refleja no sólo las reflexiones y propuestas de que es objeto el TFM, sino las rutas mentales y metodológicas –tanto hallazgos como titubeos o reiteraciones– tomadas por el Autor durante su escritura y elaboración, lo que pensamos que puede ser enriquecedor.

Aún con el *“hipnótico”* riesgo que apunta Nixon, hemos preferido no definir rígidamente los términos o conceptos utilizados durante el TFM, sino dejarlos más lábiles, flexibles para su uso práctico, pretendiéndose representar casi a modo de un *wittgensteiniano “juego de lenguaje”* (Wittgenstein 1988).

Pese a todo, creemos que nuestro TFM adolece de cierto barroquismo (con mayor reposo y tiempo de redacción seguro lograríamos pulir la narración); en trabajos específicos que pudieran surgir inspirados por el material de este TFM se buscaría una prosa más sencilla y “poética” –inspiradora– sin perder rigor. Este TFM, insistimos, tiene un elevado corte teórico y académico para aunar y compilar mejor toda la información y planteamientos –y tener este material para consulta propia y ajena–, pero en una puesta en práctica “real” y “concreta” de las ideas expresadas hemos de abandonar los encorsetamientos y buscar lo ameno y efectivo.

Esperamos que, si bien intencionadamente no hemos descrito un método reglado, mecánico para el diseño de esta didáctica, se pueda entrever nuestra “filosofía multidisciplinar”, abierta y enemiga de todo sectarismo, mediante la lectura atenta y reflexionada de este TFM.

¹⁵⁸ Vemos básicos en Ciencia los enfoques “interdisciplinares” para la configuración de nuevos entrelazamientos de “redes” conectando ideas antes no unidas (ver Johnson 2010, pp. 84-91 o Zamora Bonilla 2005, pp.139-141).

¹⁵⁹ Sobre todo resaltamos la redacción rápida, que si bien puede otorgar aspectos positivos como la frescura o la explicitación del pensamiento o subtexto en la propia narración, también puede caer en cierto descuido, repeticiones, superficialidad o desorden, etc., que esperamos no sean excesivos. La configuración temporal del Máster de Profesorado –al menos mientras tenga un año de duración– implica una escritura apresurada y menos pulida de los Trabajos Fin de Máster; lo que tiene la ventaja de estar inmersos en un clima de predisposición y aclimatación práctica y académica (aparte de lecturas antes y durante el curso), pero desventajas como un menor reposo de las ideas y reflexiones. Nuevamente, casi podemos decir que volvemos a Gray (2001) y los conflictos entre *“valores incommensurables”*. Con sus virtudes y defectos, aquí dejamos estas líneas y el propio TFM como testimonio.

VII. ANEXOS

VII.1 Anexo I¹⁶⁰: “Cultura Científica”

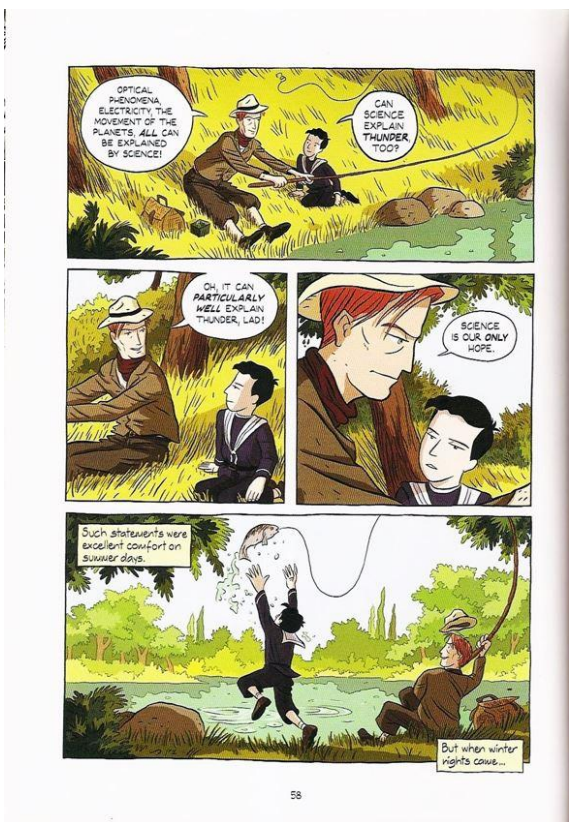
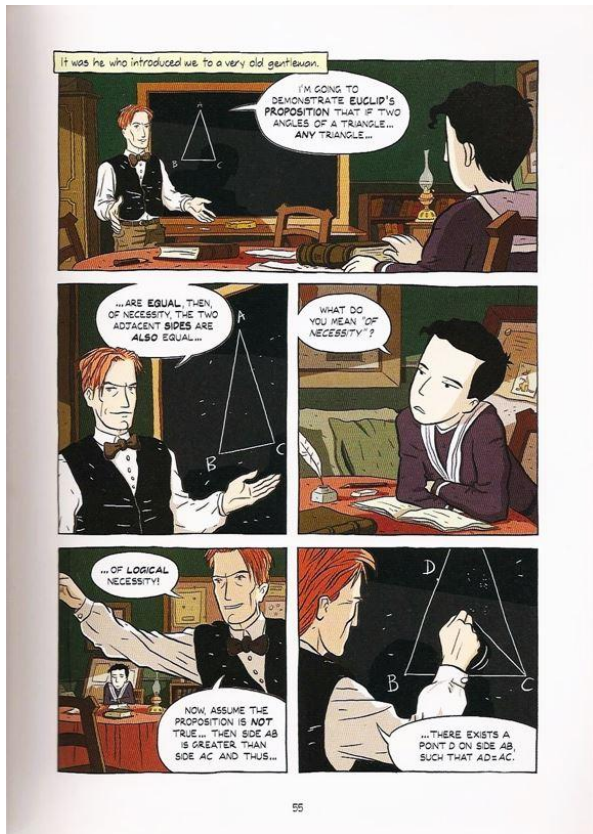
Cultura Científica. 4º ESO		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. Procedimientos de trabajo		
<p>Métodos de trabajo. Uso del método científico.</p> <p>Búsqueda, selección, tratamiento y transmisión de la información científica mediante el uso de diferentes fuentes.</p> <p>Conocimiento, uso y valoración de las herramientas TIC.</p>	<p>1. Obtener, seleccionar y valorar informaciones relacionadas con temas científicos de la actualidad.</p> <p><i>Se trata de evaluar si el alumno es capaz de analizar textos científicos valorando de forma crítica su contenido.</i></p> <p>4º) <i>Aprender a aprender.</i></p>	<p>1.1 Analiza un texto científico, valorando de forma crítica su contenido.</p>
	<p>2. Valorar la importancia que tiene la investigación y el desarrollo tecnológico en la actividad cotidiana y analizar la información científica obtenida de diversas fuentes.</p> <p><i>Se trata de averiguar si el alumno reconoce la importancia de la investigación científica y el desarrollo tecnológico como motor de nuestra sociedad y realiza búsquedas de información de contenido científico utilizando diversas fuentes.</i></p> <p>3º) <i>Competencia digital.</i> 4º) <i>Aprender a aprender.</i></p>	<p>2.1. Presenta información sobre un tema tras realizar una búsqueda guiada de fuentes de contenido científico, utilizando tanto los soportes tradicionales, como Internet.</p> <p>2.2. Analiza el papel que la investigación científica y el desarrollo tecnológico tienen como motor de nuestra sociedad y su importancia a lo largo de la historia.</p>
	<p>3. Comunicar conclusiones e ideas en distintos soportes a públicos diversos, utilizando eficazmente las tecnologías de la información y comunicación para transmitir opiniones propias argumentadas.</p> <p><i>Este criterio de evaluación pretende averiguar si el alumno es capaz de comentar artículos científicos de manera crítica ante diversos tipos de público, analizando las posibles consecuencias sociales y transmitiendo de forma razonada las conclusiones obtenidas en diversos soportes, utilizando eficazmente las tecnologías de la información y comunicación.</i></p> <p>3º) <i>Competencia digital.</i></p>	<p>3.1. Comenta artículos científicos divulgativos realizando valoraciones críticas y análisis de las consecuencias sociales de los textos</p>

¹⁶⁰ El cuadro adjuntado es el consultado al final de la sección V.1.1 Pensar científico y contexto del presente TFM. Ha sido extraído de forma íntegra de la web del Gobierno de Cantabria, *Educantabria.es*, en la asignatura *Cultura Científica (4º ESO y 1º Bachillerato) – Educantabria*, para un más cómodo manejo al leer este TFM.

	5º) <i>Competencias sociales y cívicas.</i>	analizados y defiende en público sus conclusiones. 3.2. Utiliza las TIC para la búsqueda, tratamiento y presentación de informaciones científicas.
Bloque 2. El Universo		
<p>Teorías sobre el origen y la evolución del Universo.</p> <p>Organización y estructura del Universo. Materia oscura y agujeros negros.</p> <p>Formación del Sistema Solar: estructura y características.</p> <p>Evolución de las estrellas.</p> <p>Condiciones para el origen de la vida.</p>	<p>1. Diferenciar las explicaciones científicas relacionadas con el Universo, el sistema solar, la Tierra, el origen de la vida y la evolución de las especies de aquellas basadas en opiniones o creencias.</p> <p><i>Se trata de comprobar que el alumno contrasta y argumenta las diferentes teorías relativas sobre el origen y evolución del Universo, el sistema solar, la tierra y la vida.</i></p> <p>1º) <i>Comunicación lingüística.</i> 2º) <i>Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.</i></p>	<p>1.1. Describe las diferentes teorías acerca del origen, evolución y final del Universo, estableciendo los argumentos que las sustentan.</p> <p>1.2. Establece diferencias entre las teorías acerca del origen de la Tierra y de la vida y la evolución de las especies, estableciendo los argumentos que las sustentan.</p>
	<p>2. Conocer las teorías que han surgido a lo largo de la historia sobre el origen del Universo y en particular la teoría del <i>Big Bang</i>.</p> <p><i>Se pretende evaluar si el alumno reconoce la teoría del Big Bang como explicación al origen del Universo y la compara con otras teorías surgidas a lo largo de la historia.</i></p> <p>4º) <i>Aprender a aprender.</i></p>	<p>2.1. Reconoce la teoría del <i>Big Bang</i> como explicación al origen del Universo y la compara con otras teorías referidas a dicho origen.</p>
	<p>3. Describir la organización del Universo y como se agrupan las estrellas y planetas.</p> <p><i>Se pretende comprobar si el alumno es capaz de explicar cómo se organiza y estructura el Universo valorando la importancia de la materia oscura y situando nuestro sistema solar.</i></p> <p>2º) <i>Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.</i> 4º) <i>Aprender a aprender.</i></p>	<p>3.1. Establece la organización del Universo conocido, situando en él al sistema solar.</p> <p>3.2. Determina, con la ayuda de ejemplos, los aspectos más relevantes de la Vía Láctea.</p> <p>3.3. Justifica la existencia de la materia oscura para explicar la estructura del Universo.</p>

	<p>4. Señalar qué observaciones ponen de manifiesto la existencia de un agujero negro, y cuáles son sus características.</p> <p><i>Este criterio permite averiguar si el alumno describe las principales características de los agujeros negros, razonando su existencia.</i></p> <p>4º) Aprender a aprender.</p>	<p>4.1. Argumenta la existencia de los agujeros negros describiendo sus principales características.</p>
	<p>5. Distinguir las fases de la evolución de las estrellas y relacionarlas con la génesis de elementos.</p> <p><i>Se trata de valorar si el alumno describe las fases de la evolución de las estrellas, indicando en cuál de ellas se encuentra nuestro sol, y las relaciona con la génesis de elementos químicos.</i></p> <p>2º) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología. 4º) Aprender a aprender.</p>	<p>5.1. Conoce las fases de la evolución estelar y describe en cuál de ellas se encuentra nuestro Sol.</p> <p>5.2. Relaciona la evolución de las estrellas con la formación de distintos elementos químicos.</p>
	<p>6. Reconocer la formación del Sistema Solar.</p> <p><i>Se pretende evaluar si el alumno sabe explicar la formación del Sistema Solar indicando su estructura y principales características.</i></p> <p>1º) Comunicación lingüística.</p>	<p>6.1. Explica la formación del Sistema Solar describiendo su estructura y características principales.</p>
	<p>7. Indicar las condiciones para la vida en otros planetas.</p> <p><i>El objetivo de este criterio es comprobar si el alumno reconoce las condiciones que debe tener un planeta para albergar vida.</i></p> <p>2º) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.</p>	<p>7.1. Indica las condiciones que debe reunir un planeta para que pueda albergar vida.</p>
	<p>8. Conocer los hechos históricos más relevantes en el estudio del Universo.</p> <p><i>Este criterio pretende conocer si el alumno reconoce los acontecimientos científicos que han sido fundamentales para el conocimiento actual del Universo.</i></p> <p>2º) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.</p>	<p>8.1. Señala los acontecimientos científicos que han sido fundamentales para el conocimiento actual que se tiene del Universo.</p>

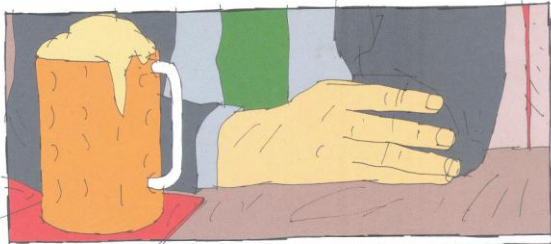
VII.2 Anexo II¹⁶¹: "Logicomix"



¹⁶¹ En este VII.2 Anexo II recogemos algunas imágenes que podemos usar de Doxiadis y Papadimitriou (2009, pp. 55-58).

VII.3 Anexo III¹⁶²: "Cosmicómic"

¹⁶² En este **VII.3 Anexo III** recogemos algunas imágenes que podemos usar de Balbi y Piccioni (2014, pp. 93-98).



VIII. BIBLIOGRAFÍA

VIII.1 Libros

- Abbagnano, N. (1972). *Historia de la filosofía. Tomo I*. Barcelona: Montaner y Simón.
- Abbagnano (et al.) (1971). *La evolución de la dialéctica*. Barcelona: Martínez Roca.
- Abellán, J.L. (1971). *La cultura en España: (Ensayo para un diagnóstico)*. Madrid: Cuadernos para el Diálogo.
- Abellán, J.L. (1996). *Historia del pensamiento español: de Séneca a nuestros días*. Madrid: Espasa Calpe.
- Alemañ Berenguer, R.A. (1998a). *Grandes Metáforas de la Física*. Madrid: Celeste.
- Alonso, A. y Arzoz, I. (2003). *Carta al homo ciberneticus: un manual de ciencia, tecnología y sociedad activista para el siglo XXI*. Madrid: Edaf.
- Alonso, A., Ayestarán, I. y Ursúa, N. (coord.) (1996). *Para comprender ciencia, tecnología y sociedad*. Estella (Navarra): Evd.
- Álvarez Sánchez, J. (versión) (1983). *Forjadores de la ciencia*. Madrid: Riodeuro.
- Andrade e Silva, J. y Lochak, G. (1969). *Los cuantos*. Madrid: Guadarrama (Biblioteca para el Hombre Actual).
- Aquino, T. de (2001). *Suma de Teología I*. Madrid: BAC (Biblioteca de Autores Cristianos).
- Ardley, N. y Ridpath, I. (1979). *El Universo*. Barcelona: Vidorama (Jaimés Libros S.A.).
- Arias, X.C. (2011). *La torre de la arrogancia: políticas y mercados después de la tormenta*. Barcelona: Ariel.
- Asimov, I. (1975). *Breve Historia de la Química*. Madrid: Alianza («El Libro de Bolsillo»).
- Asimov, I. (1977). *El universo*. Madrid: Alianza (Tercera edición en «El Libro de Bolsillo»).
- Asimov, I. (1979). *Introducción a la Ciencia*. Esplugas de Llobregat (Barcelona): Plaza & Janés.
- Asimov, I. (1981). *Momentos estelares de la ciencia*. Madrid: Alianza («El Libro de Bolsillo»).
- Asimov, I. (1986). *¡Cambio! 71 visiones del futuro*. Madrid: Alianza (Segunda reimpresión en «El Libro de Bolsillo»).
- Asimov, I. (1990). *Cronología de los descubrimientos*. Esplugas de Llobregat (Barcelona): Ariel.
- Aubert, J.M. (1977). *Filosofía de la Naturaleza. Propedéutica para una visión cristiana del mundo*. Barcelona: Herder.
- Aubert, A., Flecha, A., García, C., Flecha, R., Racionero, S. (2010, Tercera edición). *Aprendizaje dialógico en la Sociedad de la Información*. Barcelona: Hipatia.
- Aubusson, P.J., Harrisson, A.G. y Ritchie, S.M. (2006). *Metaphor and Analogy in Science Education*. Dordrecht (Netherlands): Springer. Consulta del 6 de junio de 2015:
https://books.google.es/books?id=xZW7o2i_RHgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false
- Baig, A. y Agustench, M. (1990, última reimpresión de edición de 1987). *La Revolución Científica de los siglos XVI y XVII*. Madrid: Alhambra (Biblioteca de Recursos Didácticos Alhambra).
- Bar-Hillel, Y., Bunge, M., Mostowski, A., Piaget, J., Salam, A., Tondl, L. y Watanabe, S. (1993, Reimpresión de 1ª edición de 1983). *El pensamiento científico. Conceptos, avances, métodos*. Madrid: Tecnos.
- Barceló, A. (1992). *Filosofía de la economía: leyes, teorías y modelos*. Barcelona: Icaria.
- Barceló, A. (1998). *Economía política radical*. Madrid: Síntesis.
- Barnett, L. (1973, Quinta reimpresión). *El Universo y el Doctor Einstein*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Barrow, J.D. (1999). *Imposibilidad: los límites de la ciencia y la ciencia de los límites*. Barcelona: Gedisa.
- Barzun, L. (2002). *Del amanecer a la decadencia: 500 años de vida cultural en Occidente (de 1500 a nuestros días)*. Madrid: Taurus.
- Bergua, J.B. (1979). *Mitología Universal. Tomo Segundo*. Madrid: Clásicos Bergua (Tercera Edición).
- Bernal, J.D. (1967). *Historia social de la ciencia*. [En dos tomos.] 1, *La ciencia en la historia*. 2, *La ciencia de nuestro tiempo*. Barcelona: Península.
- Berry, A. (1977). *Los próximos diez mil años*. Madrid: Alianza.
- Blinder, A.S. (2014). *Y la música paró: una historia pausada y razonada del origen, la respuesta, las consecuencias y lo que queda por hacer tras la peor crisis financiera de los últimos tiempos*. Barcelona: Deusto.
- Blyth, M. (2014). *Austeridad: historia de una idea peligrosa*. Barcelona: Crítica.
- Bohm, D. (1997). *Sobre el diálogo*. Barcelona: Kairós.
- Boltzmann, L. (1982). *Escritos de mecánica y termodinámica*. Madrid: Alianza.
- Brenna, V. (1975). *El Universo*. Madrid: Ediciones Paulinas.
- Bunge, M. (1980). *Epistemología: curso de actualización*. Barcelona: Ariel.
- Bunge, M. (1983). *Controversias en física*. Madrid: Tecnos.
- Bunge, M. (1985) *La investigación científica: su estrategia y su filosofía*. Barcelona: Ariel.
- Bruckner, P. (2003). *Miseria de la prosperidad: la religión del mercado y sus enemigos*. Barcelona: Tusquets.
- Calero, J. (dirección) [et al.] (2008). *Sociedad desigual, ¿educación desigual?: sobre las desigualdades en el sistema educativo español*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, Subdirección General de Información y Publicaciones.
- Carabaña, J. (1999). *Dos estudios sobre movilidad intergeneracional*. Madrid: Fundación Argentina.
- Carreira, M.M. (1993). *Metafísica de la materia: núcleos temáticos de filosofía de la naturaleza, materia no-viviente*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas.
- Cassidy, J. (2010). *Por qué quiebran los mercados: la lógica de los desastres financieros*. Barcelona: RBA.
- Châtelet, F. (1976) (dir.). *Historia de la filosofía: Ideas, doctrinas*. [Cuatro tomos.] Madrid: Espasa-Calpe.
- Clarke, A.C. (1985). *2001: una odisea espacial*. Barcelona: Orbis.
- Cohen, B.L. (1977). *Ciencia nuclear y sociedad*. Madrid: Guadarrama (Colección Universitaria de Bolsillo: Punto Omega).
- Clarke, A. (1967, Bantam Science and Mathematics edition, April 1967). *Profiles of the Future. A daring look at tomorrow's fantastic world*. New York (U.S.A.): Bantam Books.
- Cohen, I.B. (2002). *Revolución en la ciencia*. Barcelona: Gedisa.
- Cohn, N. (1985). *En pos del Milenio: revolucionarios milenaristas y anarquistas místicos de la Edad Media*. Madrid: Alianza.
- Comellas, J.L. (2007). *Historia sencilla de la ciencia*. Madrid: Rialp.
- Copleston, F. (2012). *Historia de la Filosofía. Volumen I: De la Grecia antigua al mundo cristiano. Tomo I: Grecia y Roma*. Barcelona: Círculo de Lectores.
- Cottler, J. y Jaffee, H. (1981). *34 biografías de científicos y exploradores*. México: Libro-Mex Editores.

- Crego Díaz, A. (2003). *K. Marx y L. Wittgenstein: elementos para una teoría sociopsicológica del conocimiento*. [Tesis doctoral dirigida por Florencio Jiménez Burillo.] Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Consulta del 16 de junio de 2015: <http://biblioteca.ucm.es/tesis/psi/ucm-t26728.pdf>
- Crowther, J.G. (1945a). *J. Prescott Joule – William Thomson – J. Clerk Maxwell (Hombres de ciencia británicos del siglo XIX)*. Buenos Aires (Argentina): Espasa-Calpe (Colección Austral).
- Crowther, J.G. (1945b). *T. Alva Edison – J. Henry (Hombres de ciencia norteamericanos del siglo XIX)*. Buenos Aires (Argentina): Espasa-Calpe (Colección Austral).
- Crowther, J.G. (1946). *Benjamin Franklin – J. Willard Gibbs (Hombres de ciencia norteamericanos)*. Buenos Aires (Argentina): Espasa-Calpe (Colección Austral).
- Deaño, A. (1974). *Introducción a la lógica formal: La lógica de enunciados*. Madrid: Alianza Universidad.
- Díez, J.A. y Moulines, C.U. (2008, 3a ed.). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel.
- Duhem, P. (2003). *La teoría física: su objeto y su estructura*. Barcelona: Herder.
- Dole, S.H. (1968). *Planetas habitables*. Barcelona: Labor.
- Eco, U. (1995). *Cómo se hace una tesis. Técnicas y procedimientos de investigación, estudio y escritura*. Barcelona: Gedisa.
- Einstein, A. (2004) (Traducción, introducción y notas de Antonio Ruiz de Elvira). *Cien años de relatividad: los artículos claves de Albert Einstein de 1905 y 1906*. Tres Cantos (Madrid): Nivola.
- Engels, F. (1981). *Introducción a la dialéctica de la naturaleza. El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre*. Madrid: Ayuso.
- Euler, L. (1990). *Cartas a una princesa de Alemania sobre diversos temas de Física y Filosofía*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Feijoo, B.J. (1984). *Antología*. [Contiene fragmentos de "Teatro Crítico Universal" y de las "Cartas Eruditas."] Barcelona: Orbis.
- Ferreira, J.L. (2015, 2ª edición corregida y ampliada). *Economía y pseudociencia: crítica a las falacias económicas imperantes*. Madrid: Díaz & Pons.
- Fernández Uría, E. (1979a). *Cuestiones didácticas de Física*. Zaragoza: Instituto de Ciencias de la Educación (Universidad de Zaragoza).
- Fernández Uría, E. (1979b). *Estructura y didáctica de las Ciencias*. Madrid: Rivadeneyra.
- Fernández Uría, E. (1982). *La Física Clásica en la Historia: cuestiones para un enfoque interdisciplinar*. Zaragoza: Instituto de Ciencias de la Educación (Universidad de Zaragoza).
- Ferrater Mora, J. (1994). *Diccionario de Filosofía*. [Cuatro tomos.] Barcelona: Círculo de Lectores.
- Feyerabend, P.K. (2002). *Contra el método*. Barcelona: Folio.
- Feynman (1986). *El carácter de la ley física*. Barcelona: Orbis (Biblioteca de Divulgación Científica. Revista "Muy Interesante").
- Flassbeck, H., Davidson, P., Galbraith, J.K., Koo, R. y Ghosh, J. (2014) *¡Actúen ya! Un manifiesto global para recuperar nuestras economías y salir de la crisis*. Barcelona: Deusto.
- Foley, D.K. (1989). *Para entender El Capital. La teoría económica de Marx*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Fontenelle, B. Le B. de (1910). *Coloquios sobre la pluralidad de los mundos*. Valencia: Prometeo.
- Fontenelle, B. Le B. de (1982). *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos*. Madrid: Editora Nacional.
- Franco Mariscal, A.J. (2007). *Enseñando Física y Química con ideas quijotescas*. Catálogo de publicaciones del MEC (Ministerio de Educación y Ciencia).
- Fritze, R.H. (2010). *Conocimiento inventado. Falacias históricas, ciencia amañada y pseudo-religiones*. Madrid: Turner Noema.
- Galilei, G. (2011). *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Madrid: Alianza.
- Gamow, G. (1980). *Biografía de la Física*. Madrid: Alianza.
- García Barreno, P. (dir.) (2001, Tercera edición). *La Ciencia en tus Manos*. Madrid: Espasa Fórum (Espasa Calpe).
- García, N.E. (2010). *La crisis de la macroeconomía*. Madrid: Marcial Pons.
- García, N.E. y Ruesga Benito, S.M (coords.) (2014). *¿Qué ha pasado con la economía española?: la gran recesión 2.0 (2008 a 2013)*. Madrid: Pirámide.
- Geymonat, L. (2002). *Límites actuales de la Filosofía de la Ciencia*. Barcelona: Gedisa.
- Gimpel, J. (1981). *La revolución industrial en la Edad Media*. Madrid: Taurus.
- Gisbert, M. y Hernández, J. L. (1998). *Física 2*. Madrid: Bruño.
- González García, M., López Cerezo, J.A. y Luján López, J.L.; con la contribución de Melo Martín, M.I y Mitcham, C. (1996). *Ciencia, tecnología y sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología*. Madrid: Tecnos.
- Gray, J. (2000). *Falso amanecer: los engaños del capitalismo global*. Barcelona: Paidós.
- Gray, J. (2001). *Las dos caras del liberalismo: una nueva interpretación de la tolerancia liberal*. Barcelona: Paidós.
- Gribbin, J. (1993). *En Busca de la Frontera del Tiempo*. Madrid: Celeste.
- Guerrero, D. (1997). *Historia del pensamiento económico heterodoxo*. Madrid: Trotta.
- "Grupo Orión" de Didáctica de la Física (Universidad de Extremadura) (2001). *Física Bachillerato 2*. Madrid: Santillana.
- Guadiel (VV.AA.) (del Grupo Edebé) (2009). *Física. Bachillerato*. Madrid: Edebé.
- Guzmán, R. (2012). *Claroscuros científicos. Paul Ehrenfest y los temas cruciales en el surgimiento de la Física Moderna*. Madrid: Plaza y Janés.
- Harari, Y. N. (2014). *De animales a dioses: breve historia de la humanidad*. Barcelona: Debate.
- Heimendahl, E. (et. al.) (1969). *Física y filosofía*. Madrid: Guadarrama (Colección Universitaria de Bolsillo: Punto Omega).
- Heinlein, R.A. (1980). *Historia del futuro 1 y 2*. Barcelona: Acervo.
- Hempel, C.G. (1996). *La explicación científica: Estudios sobre la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Paidós.
- Holton, G. (1979). *Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas*. Barcelona: Reverté.
- Hoyle, F. (1967). *El Universo: Galaxias, Núcleos y Quasars*. Madrid: Alianza.
- Huerta de Soto, J. (2011, Quinta Edición). *Dinero, crédito bancario y ciclos económicos*. Madrid: Unión Editorial. Consulta del 12 de junio de 2015 en: <http://www.miseshispano.org/wp-content/uploads/2013/01/Dinero-Cr%C3%A9dito-Bancario-y-Ciclos-Econ%C3%B3micos.pdf>
- Huizinga, J. (1967). *El otoño de la Edad Media*. Madrid: Revista de Occidente.
- Huizinga, J. (2013). *El problema del Renacimiento*. Madrid: Casimiro.
- Isaacson, W. (2010). *Einstein. Su vida y su universo*. Barcelona: Debolsillo.

- Jiménez de la Fuente, J.J., Prieto de Paula, J., Muñoz Martínez, P.J. y Fernández Fernández, M.L. (2012). *Ciencias para el mundo contemporáneo. 1º Bachillerato*. Aravaca (Madrid): McGraw-Hill.
- Johnson, S. (2010). *La invención del aire. Un descubrimiento, un genio y su tiempo*. Madrid: Turner Noema.
- Judt, T. (2013). *Algo va mal*. Madrid: Taurus.
- Kaku, M. (2012, Quinta edición). *Física de lo imposible*. Barcelona: Debolsillo.
- Kindleberger, C.P. (2012). *Manías, pánicos y cracs: historia de las crisis financieras*. Barcelona: Ariel.
- Kneale W. y Kneale, M. (1980). *El desarrollo de la lógica*. Madrid: Tecnos.
- Kosko, B. (1995). *Pensamiento borroso: la nueva ciencia de la lógica borrosa*. Barcelona: Crítica.
- Kosko, B. (2000). *El futuro borroso o El cielo en un chip*. Barcelona: Crítica.
- Koyré, A. (1977). *Estudios de historia del pensamiento científico*. Madrid: Siglo XXI de España Editores.
- Koyré, A. (1979). *Del mundo cerrado al universo infinito*. Madrid: Siglo XXI de España Editores.
- Koyré, A. (1980). *Estudios galileanos*. Madrid: Siglo XXI de España Editores.
- Kristeller, P.O. (1986). *El pensamiento renacentista y las artes: colección de ensayos*. Madrid: Taurus.
- Kuhn, T.S. (1978). *La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento*. Barcelona: Ariel.
- Kuhn, T.S. (2006, Tercera Edición). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- Lakatos, I. (1987). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos.
- Landau, L. y Rumer, Y. (1980). *¿Qué es la Teoría de la Relatividad?* Madrid: Akal.
- Lapavitsas, C. (et. al.) (2013). *Crisis en la eurozona*. Madrid: Capitán Swing.
- Laplace, P.-S. (2005). *Exposición del sistema del mundo*. Barcelona: Crítica.
- Lévy-Leblond, J.-M. y Butoli, A. (2003). *La física en preguntas*. [Dos tomos.] 1. *Mecánica* – 2. *Electricidad y magnetismo*. Madrid: Alianza.
- Lindberg, D.C. (2002). *Los inicios de la ciencia occidental: la tradición científica europea en el contexto filosófico, religioso e institucional (desde el 600 a.C. hasta 1450)*. Barcelona: Paidós.
- Lorenzo, J. de (1998). *La matemática: de sus fundamentos y crisis*. Madrid: Tecnos.
- Lorenzo, J. de (2000). *Filosofías de la matemática: fin de siglo XX*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Lucrecio (1983). *De la naturaleza de las cosas*. Madrid: Cátedra.
- Lunan, D. (1977). *A la escucha de las estrellas*. Barcelona: Argos – Vergara.
- Mantegna, R.N. y Stanley, H.E. (2000). *Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge (England): Cambridge University Press. Consulta del 12 de junio de 2015 en: <http://polymer.bu.edu/hes/book-mantegna00stanley.pdf>
- Martín Seco, J.F. (2013). *Contra el euro: historia de una ratonera*. Barcelona: Península.
- Martínez García, J.S. (2013). *Estructura social y desigualdad en España*. Madrid: Los libros de la Catarata.
- Martínez Salas (1969). *Elementos de Matemáticas*. Valladolid: José Martínez Salas (Gráf. Andrés Martín).
- Mazzucato, M. (2014). *El Estado emprendedor: mitos del sector público frente al privado*. Barcelona: RBA.
- Milanovic, B. (2012). *Los que tienen y los que no tienen: una breve y singular historia de la desigualdad global*. Madrid: Alianza.
- Mínguez Pérez, C. (1986). *De Ockham a Newton: la formación de la ciencia moderna*. Madrid: Cincel.
- Moreira, M.A., Caballero, C. y Vergnaud, G. (2009) *La teoría de los campos conceptuales y la enseñanza/aprendizaje de las ciencias*. Burgos: Servicio de Publicaciones e Imagen Institucional (Universidad de Burgos).
- Mosterín, J. (2007). *Los lógicos*. Madrid: Espasa-Calpe (Colección Austral. Ciencias y Humanidades).
- Nácar Fuster, E. y Colunga Cueto, A. (1980) (traductores) *Sagrada Biblia* (Varios Autores). Madrid: BAC (Biblioteca de Autores Cristianos).
- Nagel, E. (1989). *La estructura de la ciencia: problemas de la lógica de la investigación científica*. Barcelona: Paidós.
- Nasar, S. (2005). *Una mente maravillosa*. Barcelona: Comunicación y Publicaciones (Colección 'Cine para leer').
- Naukas (VV.AA.) (2013). *Grandes enigmas de la ciencia*. Barcelona: Grijalbo.
- Newton, I. (1945, Segunda edición). *Selección*. Buenos Aires (Argentina): Espasa-Calpe (Colección Austral).
- Newton, I. (2008). *Cuatro cartas al Dr. Bentley. Carta al honorable Sr. Boyle sobre la causa de la gravitación*. Madrid: Editorial Complutense (en coedición con la Facultad de Filosofía de la UCM), UCM (Universidad Complutense de Madrid).
- Nixon, R. (1990). *En la arena*. Barcelona: Plaza & Janés.
- O'Neill, G.K. (1981). *Ciudades del espacio*. Barcelona: Bruguera.
- Opisso y Viñas, A. (S.F. –Sin Fecha–, c. 1930?). *El arte de pensar*. Barcelona: Calpe.
- Pernoud, R. (1998). *Para acabar con la Edad Media*. Palma de Mallorca: José J. de Olañeta.
- Penrose, R. (2006). *El camino a la realidad: una guía completa de las leyes del universo*. Barcelona: Debate.
- Piaget, J. y Beth, E.W. (1961). *Relaciones entre la lógica formal y el pensamiento real (en otras ediciones, "Epistemología matemática y psicología")*. Madrid: Ciencia Nueva.
- Piketty, T. (2014). *El capital en el siglo XXI*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Pisani-Ferry, J. (2012). *El despertar de los demonios: la crisis del euro y cómo salir de ella*. Barcelona: Antoni Bosch.
- Platón (1972). *Diálogos: Fedón, o de la inmortalidad del alma. El banquete, o del amor. Gorgias, o de la retórica*. Madrid: Espasa-Calpe (Colección Austral).
- Platón (1990). *Teeteto*. Barcelona: Anthropos, Editorial del Hombre (Ministerio de Educación y Ciencia).
- Poincaré, H. (1943). *La ciencia y la hipótesis*. Madrid: Espasa-Calpe (Colección Austral).
- Polanyi, K. (1997). *La gran transformación: crítica del liberalismo económico*. Madrid: La Piqueta.
- Polanyi, K. (2013). *La esencia del fascismo; seguido de Nuestra obsoleta mentalidad de mercado*. Madrid: Escolar y Mayo.
- Polanyi, M. (1961). *Ciencia, fe y sociedad*. Madrid: Taurus.
- Popper, K.R. (1977). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- Preiss, B. (Edición.) (Dirección científica: Fraknoi, A.; VV.AA. –Varios Autores–) (1989). *El Universo*. Barcelona: Círculo de Lectores.
- Prosperí, A. (2008). *El Concilio de Trento: una introducción histórica*. Valladolid: Consejería de Cultura y Turismo (Junta de Castilla y León).
- Puig, Miquel (2013). *La sortida del laberint* (La salida del laberinto). Barcelona: Edicions 62 (Llibres a l'Abast).

- Quero Mussot, A. (2014). *La reforma progresista del sistema financiero: un banco ciudadano de depósitos y una tasa sobre el casino financiero*. Madrid: Catarata.
- Rajan, R.G. (2011). *Grietas del sistema: por qué la economía mundial sigue amenazada*. Barcelona: Deusto.
- Reinhart, C.M. y Rogoff, K.S. (2011). *Esta vez es distinto: ocho siglos de necesidad financiera*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Rey Gallego, Á. (2014a, inédito). *La hora de la siega*. Obra teatral inédita en dos actos para dos personajes.
- Rivadulla Rodríguez, A. (1984). *Filosofía actual de la ciencia*. Madrid: Editora Nacional.
- Roller, D. y Holton, G. (1963). *Fundamentos de la Física Moderna*. Barcelona (etc.): Reverté.
- Roubini, N. y Mihm, S. (2011). *Crisis economic: a crash course in the future of finance*. London: Penguin Books.
- Rubió y Bellvé, M. (1932). *Arte de estudiar*. Madrid-Barcelona: Espasa-Calpe.
- Rubio Sáez, N., Pulido Bordallo, C. y Roiz García, J.M. (2008). *Bachillerato 1. Ciencias para el Mundo Contemporáneo*. Madrid: Grupo Anaya.
- Russell, B. (1984). *Escritos básicos I y II*. Barcelona: Planeta-De Agostini.
- Rodrik, D. (2012). *La paradoja de la globalización: la democracia y el futuro de la economía mundial*. Barcelona: Antoni Bosch.
- Sagan, C. (2001). *Contact*. Barcelona: Planeta DeAgostini (Edición especial para la revista QUO).
- Sánchez Ferlosio, C. (2008). *de Chicho [Sánchez Ferlosio]: Canciones, poemas y otros textos*. San Sebastián de los Reyes (Madrid): Hiperión (Edición de Rosa Jiménez, Lisi F. Prada y Francisco Cumpián).
- Sánchez Vígil, J.M y Olivera Zaldúa, M. (2013) *La editorial Gallach y su contribución a la industria cultural española*. Recuperación y análisis de su catálogo. Investigación Bibliotecológica, Vol. 28, Núm. 63, mayo/agosto, 2014, México. ISSN: 0187-358X. pp. 51-83. Consulta del 14 de junio de 2015 en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ib/v28n63/v28n63a4.pdf> y http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-358X2014000200004&script=sci_arttext
- Schopenhauer, A. (2011). *El arte de tener razón: expuesta en 38 estrategias*. Madrid: Edaf.
- Sevilla Segura, J.V. (2011). *El declive de la socialdemocracia*. Barcelona: RBA.
- Shea, W.R. y Artigas, M (2003). *Galileo en Roma: crónica de 500 días*. Madrid: Encuentro.
- Skidelsky, R. y Skidelsky, E. (2012). *¿Cuánto es suficiente?: qué se necesita para una "buena vida"*. Barcelona: Crítica.
- Smil, V. (2001). *Energías: una guía ilustrada de la biosfera y la civilización*. Barcelona: Crítica.
- Smil, V. (2003). *Alimentar al mundo: un reto del siglo XXI*. Madrid: Siglo XXI de España.
- Sotelo, I. (2014). *España a la salida de la crisis: la sociedad dual del capitalismo financiero*. Barcelona: Icaria.
- Stegmüller, W. (1967). *Corrientes fundamentales de la filosofía actual*. Buenos Aires : Nova.
- Stegmüller, W. (1979). *Teoría y experiencia*. Barcelona: Ariel.
- Stegmüller, W. (1981). *La concepción estructuralista de las teorías: un posible análogo para la ciencia física del programa de Bourbaki*. Madrid: Alianza.
- Stegmüller, W. (1983). *Estructura y dinámica de teorías: segundo tomo de Teoría y experiencia*. Barcelona: Ariel.
- Stuckler, D. y Basu, S. (2013). *Por qué la austeridad mata: el coste humano de las políticas de recorte*. Madrid: Taurus.
- Snow, C.P. (1961, Seventh Printing). *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. New York (USA): Cambridge University Press. Consulta del 8 de junio de 2015: http://sciencepolicy.colorado.edu/students/envs_5110/snow_1959.pdf
- Taleb, N.N (2006). *¿Existe la suerte? Engañados por el azar*. Madrid: Thomson-Paraninfo.
- Taleb, N.N. (2011). *El cisne negro: el impacto de lo altamente improbable*. Barcelona: Paidós-Booket.
- Tierno Galván, E. (1969). *Razón mecánica y Razón dialéctica*. Madrid: Tecnos.
- Torreblanca, J.I. (2014). *¿Quién gobierna en Europa?: reconstruir la democracia, recuperar a la ciudadanía*. Madrid: La Catarata.
- Trebesch, A. (1977). *Manual de historia del pensamiento científico*. Barcelona: Avance.
- Trevor-Roper, H. (2009). *La crisis del siglo XVII: religión, reforma y cambio social*. Madrid: Katz.
- Udías Vallina, A. (2004). *Historia de la Física. De Arquímedes a Einstein*. Madrid: Síntesis.
- Varoufakis, Y. (2012). *El minotauro global: EE.UU., Europa y el futuro de la economía mundial*. Madrid: Capitán Swing.
- Vasíliev, M. y Gúshev, S. (1971). *Reportaje desde el siglo XXI*. Madrid: Alianza.
- Velasco, R. (2014). *Salvada la industria española. Desafíos actuales y reformas pendientes*. Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Verne, J. (1969). *De la Tierra a la Luna. / Alrededor de la Luna*. Barcelona: Zeus.
- Vidal Fernández, M. del C. (2009). *Física 2º de Bachillerato*. Madrid: Santillana (La Casa del Saber).
- Weaver, R.M. (2008). *Las ideas tienen consecuencias*. Madrid: Ciudadela.
- Wheen, F. (2007). *La historia de El capital de Karl Marx*. Barcelona: Debate.
- Wilkinson, R. y Pickett, K. (2009). *Desigualdad: un análisis de la (in)felicidad colectiva*. Madrid: Turner.
- Wittgenstein, L. (1975). *Tractatus Logico-Philosophicus*. Madrid: Alianza.
- Wittgenstein, L. (1988). *Investigaciones filosóficas*. Barcelona: Crítica.
- Wittgenstein, L. (2011; reimpresión de la tercera edición de 2007, revisada en 2003, original de 2002). *Tractatus logico-philosophicus*. Madrid: Tecnos.
- Wittgenstein, L. (2014). *Wittgenstein I: Tractatus logico-philosophicus. Sobre la certeza*. (Estudio introductorio: Isidoro Reguera) Madrid: Gredos (RBA Coleccionables).
- Woodcock, A. y Davis, M. (2012). *Teoría de las catástrofes*. Madrid: Cátedra (Colección Teorema. Serie mayor).
- Zamora Bonilla, J.P. (2005). *Cuestión de protocolo: ensayos de metodología de la ciencia*. Madrid: Tecnos.

VIII.2 Artículos, congresos, seminarios

- Acelerando la Ciencia (2015). *Breve introducción a los aceleradores de partículas*. Post del 9 de junio de 2015 del Blog "Acelerando la Ciencia" (consulta el 15 de junio de 2015): <https://acelerandolaciencia.wordpress.com/2015/06/09/breve-e-incompleta-introduccion-a-los-aceleradores-de-particulas/>
- Acevedo Díaz, J.A. (2004). *El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias - 2004 (3) pp 187-204. Consultado el 1 de junio de 2015 en: <http://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/16426>

- y http://www.researchgate.net/profile/Jose_Acevedo-Diaz/publication/28093029_El_papel_de_las_analogas_en_la_creatividad_de_los_cientificos_la_teora_delcampo_electromagnitico_de_Maxwell_como_caso_paradigmico_de_la_historia_de_las_ciencias/links/00463532457129a021000000.pdf
- Alemañ Berenguer, R.A. (1998b). *Relatividad General: ¿una teoría clásica?* Localizada entre los archivos de la web personal de Vicente Viana: <http://www.ua.es/personal/viana/> Consultado el 4 de junio de 2015: <http://www.ua.es/personal/viana/Documentos/Cefire/RelatividadGeneral.pdf>
- Alonso, R., Fidalgo, C., Hontiyuelo, J., Mínguez, R., Peraita, L., Rey, Á. y Rodríguez, S. (2015, inédito). *Historia de la Química en un contexto de Educación Secundaria*. Trabajo inédito presentado para la asignatura (impartida por Mercedes Pastrana): "Iniciación a la investigación educativa en física y química" ('Máster de profesorado en educación secundaria obligatoria y bachillerato, formación profesional y enseñanza de idiomas', Universidad de Valladolid).
- Blank, C. (2001 -2011-). *Modelos y metáforas: El uso de la analogía en la ciencia*. Anales de la Universidad Metropolitana, ISSN-e 1856-9811, Vol. 1, N° 1, 2001, págs. 247-261. Consulta el 26 de junio de 2015 en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4005796> y http://antroposmoderno.com/antroposmoderno.php?id_articulo=1317
- Cachón Guillén, V. (2013). *Las analogías en la formulación de la teoría electromagnética de la luz de Maxwell*. En-claves del Pensamiento, vol. VII, núm. 14, julio-diciembre, 2013, pp. 11-33. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Ciudad de México. Distrito Federal, México. Versión impresa: ISSN 1870-879X. Consultado el 1 de junio de 2015 en los siguientes sitios web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-879X2013000200001&script=sci_arttext y <http://www.redalyc.org/pdf/1411/141128984001.pdf>
- Carabaña Morales, J. (2010). *Tres medidas de eficacia segura contra el fracaso escolar*. Participación educativa, ISSN 1886-5097, N° 15, 2010 (Ejemplar dedicado a: El éxito en la enseñanza obligatoria), págs. 142-150. Consulta el 18 de junio de 2015: <http://www.mecd.gob.es/revista-cee/pdf/n15-carabana-morales.pdf>
- Cassini, A. y Levinas, L. (2005). *La reinterpretación radical del experimento de Michelson-Morley por la relatividad especial*. Scientiae Studia. vol.3 no.4: 547-81. São Paulo. Oct./Dec. 2005. Consultado el 4 de junio de 2015 en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-31662005000400002 y <http://www.scielo.br/pdf/ss/v3n4/a01v3n4.pdf>
- Chamizo Guerrero, J.A. (2010). *Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias*. Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias, ISSN-e 1697-011X, Vol. 7, N° 1, 2010, págs. 26-41. Disponible (y consulta del 26 de junio de 2015) en: <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/viewFile/23/21>
- Chamizo Guerrero, J.A. e Izquierdo, M. (2005). *Ciencia en contexto: una reflexión desde la filosofía*. Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales, ISSN 1133-9837, N° 46, 2005, págs. 9-17. Consulta el 14 de junio de 2015 en: <http://depa.fquim.unam.mx/sie/Documentos/articlealambique.pdf>
- Crego Díaz, A. (2004). *Fundamentos para una Teoría Sociopsicológica del Conocimiento a partir de Marx y Wittgenstein*. Cinta de Moebio: Revista Electrónica de Epistemología de Ciencias Sociales, ISSN-e 0717-554X, N° 20, 2004. Consulta del 27 de junio de 2015: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1065033> y <http://www.facso.uchile.cl/publicaciones/moebio/20/crego.htm>
- Díaz Sotero, P. (2015). *Faltan 900.000 profesionales TIC*. "El Mundo", Economía, 31/05/2015. Consultado el 1 de junio de 2015: <http://www.elmundo.es/economia/2015/05/31/5568a4a1268e3e9e518b4592.html>
- Drake, S.P. (2006). *The Equivalence Principle as a Stepping Stone from Special to General Relativity: A Socratic Dialog*. American Journal of Physics. 74 (2006) 22-25. Consultado el 9 de junio de 2015 en: <http://newt.phys.unsw.edu.au/einsteinlight/jw/2006AJP.pdf> y <http://arxiv.org/pdf/gr-qc/0501034.pdf>
- Drewes, A. y Palma, H. (2006). *Crítica al experimento crucial: Michelson y la hipótesis del éter (1887 - 1930)*. Algunas implicaciones para la enseñanza de la física (15/17 años). Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 2006, 3 (3), pp. 432-451. Consultado el 4 de junio de 2015 en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92030306> y http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/16155/Drewes_Palma_2006.pdf?sequence=1
- Elder, L. & Paul, R. (1998). *The Role of Socratic Questioning in Thinking, Teaching, and Learning*. The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas. Volume 71, Issue 5, May/June 1998, pages 297-301. Consultado el 14 de junio de 2015 en: <https://www.criticalthinking.org/pages/the-role-of-socratic-questioning-in-thinking-teaching-learning/522> y <http://bensonpodcast.yolasite.com/resources/role%20socratic%20q%20thinking%20teaching%20learning.pdf>
- Ex-A-FESCQ (Asociación de Profesionales Egresados de Ciencias Químicas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán - UNAM, A.C.) (S.F.) *Lavoisier*. Artículo contenido en http://www.oocities.org/ex_a_fescq/. Consulta el 15 de junio de 2015 en: http://www.oocities.org/ex_a_fescq/Tony.html
- FEDEA (2013). Evaluación de un programa de educación bilingüe en España en el libro "La educación en España. Una visión académica", *Monografías FEDEA (Fundación de Estudios de Economía Aplicada)*. Concretamente el capítulo 2: "El impacto más allá del aprendizaje del idioma extranjero" de Brindusa Anghel (FEDEA), Antonio Cabrales (Universidad Carlos III de Madrid) y Jesús M. Carro (Universidad Carlos III de Madrid). Disponible (consulta del 25 de junio de 2015) en: <http://www.fedea.net/educacion/monografia-2013/web-monografia-educacion-2013.pdf> y <http://documentos.fedea.net/pubs/dt/2013/dt-2013-08.pdf>
- Y en inglés: <http://www.eco.uc3m.es/~acabrales/research/bilingues.pdf>
- Fidalgo, C., Mínguez, R., Peraita, L., Rey, Á. y Rodríguez, S. (2015, inédito). *Diseño Instruccional Piagetiano de una Unidad Didáctica: 'Cinco Lecciones de Gravitación Universal' (Especialidad de Física y Química)*. Trabajo inédito presentado para la asignatura (impartida por José María Román Sánchez): "Aprendizaje y desarrollo de la personalidad" ('Máster de profesorado en educación secundaria obligatoria y bachillerato, formación profesional y enseñanza de idiomas', Universidad de Valladolid).
- Flórez Quintero, D.T. (2012). *Una defensa de la metainducción pesimista*. Discusiones Filosóficas. Año 13 N° 20, enero - junio, 2012. pp. 169 - 185. Disponible (consulta del 24 de junio de 2015) en: [http://200.21.104.25/discufileo/downloads/Discusiones13\(20\)_9.pdf](http://200.21.104.25/discufileo/downloads/Discusiones13(20)_9.pdf)
- Fracaro, A. y Perales, F.J. (2013) *La analogía como estrategia de enseñanza del campo e interacción*. Latin-American Journal of Physics Education, 7(3): 378-390 (2013). Consultado el 1 de junio de 2015 en: <http://digibug.ugr.es/handle/10481/33392>
- Galagovsky, L.R. y Adúriz-Bravo, A. (2001). *Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales: el concepto de "modelo didáctico analógico"*. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, ISSN 0212-4521, ISSN-e 2174-6486, Vol. 19, N° 2, 2001, págs. 231-242.

- Consulta del 26 de junio de 2015 en: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21735/21569>
- García Montero, I. (S.F.a). *Diálogo crítico- reflexivo y autorregulación del aprendizaje escolar*. Centro de Investigaciones Psicológicas y Sociológicas. Departamento Creatividad. Biblioteca Virtual CLACSO (Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales) de Argentina. Consulta el 14 de junio de 2015 en: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/cuba/garci.rtf>
- García Montero, I. (S.F.b). *El diálogo: un instrumento para la reflexión y transformación educativa*. Biblioteca Virtual CLACSO (Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales) de Argentina. Consulta el 14 de junio de 2015 en: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/cuba/cips/caudales05/Caudales/ARTICULOS/ArticulosPDF/0524G093.pdf>
- Godoy, L.A. (2002). *Sobre la estructura de las analogías en ciencias*. *Interciencia*, vol. 27, núm. 8, agosto, 2002, pp. 422–429. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela. Consultado el 1 de junio de 2015 en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442002000800007&script=sci_arttext y http://www.interciencia.org/v27_08/godoy.pdf y <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33907107>
- González Enríquez, C. (2013). *El engañoso fracaso escolar*. *Comentario Elcano* 15/2013 - 18/2/2013. Real Instituto Elcano. Consulta del 18 de junio de 2015: http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/comentario-gonzalez-enriquez-fracaso-escolar-espana
- González González, B.M. (2002). *Las analogías en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias de la naturaleza*. [Según lo indicado en el propio documento: Directores: José Fernández González, Teodomiro Moreno Jiménez y Salvador Quintero Rodríguez. / - Según Dialnet: (<http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=1037>) Tesis doctoral dirigida por Teodoro Ignazio Jiménez Urresti.] Lectura: En la Universidad de La Laguna (España) en 2002. Disponible (y consulta del 26 de junio de 2015) en: <ftp://tesis.btk.ull.es/ccssyhum/cs198.pdf>
- Guzmán Díaz, R. (2004). *El papel de la imaginación científica: La revolución de la física en los inicios del siglo XX*. *Revista de Humanidades: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*, ISSN 1405-4167, núm. 17, 2004, pp. 99-114. Consulta el 14 de junio de 2015 en: <http://www.redalyc.org/pdf/384/38401705.pdf>
- Guzmán Díaz, R. y Cervera Jiménez, J.A. (2012). *La vinculación investigación-docencia-sociedad: el caso de Paul Ehrenfest*. *Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación"*, vol. 12, núm. 3, septiembre-noviembre, 2012, pp. 1-22. Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Consultado el 2 de junio de 2015 en: <http://www.redalyc.org/pdf/447/44723985013.pdf>
- INEE (Instituto de Nacional de Evaluación Educativa) (2013). *PISA 2012. Informe español. Índice Volumen I: Resultados y contexto. "Programa para la evaluación internacional de los alumnos"*. OCDE. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Secretaría de Estado de Educación, Formación Profesional y Universidades. Dirección general de Evaluación y Cooperación Territorial. Instituto Nacional de Evaluación Educativa. Disponible (consulta del 25 de junio de 2015) en: <http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/pisa2012/pisa2012lineavolumeni.pdf?documentId=0901e72b81786310>
El Volumen II: *Análisis Secundario* (VV.AA.) también está disponible (consulta del 25 de junio de 2015) en: <http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/pisa2012/pisa2012lineavolumenii.pdf?documentId=0901e72b8178d907>
- Iparraguirre, L.M. (2007). Una propuesta de utilización de la Historia de la Ciencia en la enseñanza de un tema de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 2007, 25(3), pp. 423–434. Consulta el 14 de junio de 2015 en: <https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=OCDCQFjACahUKewir64HKyYGAhUBbROKHT18AGI&url=http%3A%2F%2Fwww.raco.cat%2Findex.php%2Fensenanza%2Farticle%2Fdownload%2F87937%2F216427&ei=xad9Vev0KHaUb34gZAG&usq=AFOjCNEyTFJ1dSUJt75tM8v2ub1omHnijw&bvm=bv.95515949.d.d24>
- Jevey Vázquez, A.F, Leyva Rúa, D. (2013). *El diálogo reflexivo como método para potencia la creatividad en el proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias sociales*. *Revista Electrónica Interactiva Opuntia Brava*. Edición 46. Enero-marzo 2013. Consulta en Opuntia Brava el 14 de junio de 2015 en: <http://www.opuntiabrava.rimed.cu/index.php/ediciones/2013/edicion-46-primer-trimestre/204-el-dialogo-reflexivo-como-metodo-para-potenciar-la-creatividad-en-el-proceso-de-ensenanza-aprendizaje-de-las-ciencias-sociales>
- Jiménez Aleixandre, M.P. y Díaz de Bustamante, J. (2003). *Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas*. *Enseñanza de las Ciencias*, 2003, 21 (III), pp. 359-370. Consulta el 14 de junio de 2015 en: https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCsQFjABahUKEwimgoCl1oGAhUG6ROKHY-1AKI&url=http%3A%2F%2Fwww.raco.cat%2Findex.php%2Fensenanza%2Farticle%2Fview%2F21944&ei=3LR9VaakOlBSU9_gpAK&usq=AFOjCNE1hSvE0104v02mXJ95nvPwYs4xG0&bvm=bv.95515949.d.d24
- Krugman, P. (2011). *Titulaciones y dólares*. "El País", *Negocios*, 13/03/2011. Consultado el 1 de junio de 2015: http://elpais.com/diario/2011/03/13/negocio/1300024344_850215.html
- La Cueva, A. (2000) *Proyectos de investigación en la escuela: científicos, tecnológicos y ciudadanos*. *Revista de educación*, ISSN 0034-8082, N° 323, 2000, págs. 265-288. Consulta del 5 de junio de 2015: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=19350>
- Larraín, A. y Freire, P. (2012). *El uso de discurso argumentativo en la enseñanza de ciencias: Un estudio exploratorio*. *Estudios Pedagógicos XXXVIII*, N° 2: pp. 133-155, 2012. Consulta el 14 de junio de 2015 en los siguientes sitios web: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07052012000200009&script=sci_arttext y http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0718-07052012000200009&script=sci_arttext y <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173524998008>
- López Cerezo, J.A. (1998) *Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos*. *Revista Iberoamericana de Educación*. Número 18. Septiembre-Diciembre 1998. MONOGRÁFICO: "Ciencia, Tecnología y Sociedad ante la Educación". Consulta el 8 de junio de 2015: <http://www.rieoei.org/oeivirt/rie18a02.htm> Número Monográfico 18: <http://www.rieoei.org/oeivirt/rie18.htm>
- Martín del Rey, M. y Martín del Rey, Á. (2009). *La influencia del experimento del Michelson y Morley en la teoría de la relatividad*. "Ciencias", 94. *Revista de cultura científica*. 94. Abril-Junio 2009. Facultad de Ciencias (Universidad Nacional Autónoma de México). Consultado el 4 de junio de 2015: <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no94/CNS094000001.pdf> <http://www.revistacienciasunam.com/es/43-revistas/revista-ciencias-94/204-la-influencia-del-experimento-del-michelson-y-morley-en-la-teoria-de-la-relatividad.html>

- Martínez Torres, E. (1999). *El diálogo, un género literario olvidado en la enseñanza de las Ciencias*. Enseñanza de las Ciencias, 1999, 17 (II), pp. 333-342. Consulta el 14 de junio de 2015 en: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21584/21418>
- Metronax (2014). *Adrian Berry: "La destrucción de la raza humana parece una tarea casi imposible"*. Blog "Destilando Libros", post del 31 de diciembre de 2014. Consultado el 11 de junio de 2015: <https://destilandolibros.wordpress.com/2014/12/31/adrian-berry-la-destruccion-completa-de-la-raza-humana-parece-una-tarea-casi-imposible/>
- Mesa Oramas, J. de la C. (2013). *Las analogías como herramientas para la obtención de conocimiento*. Euroinnova Formación. Consultado el 1 de junio de 2015 en: <http://www.monografias.com/trabajos15/analogias/analogias.shtml> y <http://redsocialeducativa.euroinnova.edu.es/pg/blog/read/567778/las-analogas-como-herramientas-para-la-obtencion-de-conocimiento>
- Michavila, F. (dir.) (2011) *La formación y gestión de los recursos humanos*, en E. Muñoz et al.: "El espacio común de conocimiento en la Unión Europea. Un enfoque al problema desde España", Academia Europea de Ciencias y Artes, Madrid. Consultado el 1 de junio de 2015: http://www.academia-europea.org/pdf/el_espacio_comun_de_conocimiento_en_la_UE.pdf
- Mínguez San José, R. y Rey Gallego, Á. (2015). *¿Cómo diseñarías reglas deportivas en otros planetas o lunas?* Post del Blog "Apuntes y Digresiones", y también como texto aportado en Academia.edu. Consultado el 5 de junio de 2015 en: <https://angelrey.wordpress.com/2015/06/04/como-disenarias-reglas-deportivas-en-otros-planetas-o-lunas-rocio-minguez-san-jose-angel-rey-gallego/> y https://www.academia.edu/12789527/C%C3%B3mo_dise%C3%B1ar%C3%ADas_reglas_deportivas_en_otros_planetas_o_lunas_-_Roc%C3%ADo_M%C3%ADnguez_San_Jos%C3%A9_and_%C3%81ngel_Rey_Gallego
- Morales Corral, E. (2010). *El uso de los videojuegos como recurso de aprendizaje en educación primaria y Teoría de la Comunicación*. Diálogos de la comunicación, ISSN 1813-9248, N.º. 80, 2010. Consulta el 14 de junio de 2015 en: <http://www.dialogosfelafacs.net/wp-content/uploads/2012/01/80-revista-dialogos-videojuegos-en-educacion-primaria.pdf>
- Moreira, M.A, Greca, I.M y Rodríguez Palmero, M.L (2002). *Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias* (Mental models and conceptual models in the teaching & learning of science). Conferencia dictada en los XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, La Laguna, Tenerife, 08 al 11 de septiembre de 2002. Publicado na Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 37-57, 2002. Disponible (y consulta del 26 de junio de 2015) en: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/modelosmentalesymodelosconceptuales.pdf>
- Oliva, J.M. (2004). *El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 3, N.º 3, 363-384 (2004). Consultado el 1 de junio de 2015 en: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen3/REEC_3_3_7.pdf
- Oliva, J.M. (2006). *Reseña de "El papel de los modelos y analogías en la educación en ciencias: implicaciones desde la investigación"* de R.K. Coll, B. France, I. Taylor. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 3, núm. 1, 2006, pp. 160-162. Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia: EUREKA. Cádiz, España. Consulta el 6 de junio de 2015: <http://www.redalyc.org/pdf/920/92030113.pdf>
- Osorio M., C. (2002). *La Educación Científica y Tecnológica desde el enfoque en Ciencia, Tecnología y Sociedad. Aproximaciones y Experiencias para la Educación Secundaria*. OEI (Organización de Estados Iberoamericanos) - Ediciones - Revista Iberoamericana de Educación - Número 28. Enseñanza de la tecnología / Ensino da tecnologia. Enero-Abril 2002 / Janeiro-Abril 2002. Consulta el 18 de junio de 2015: <http://www.rieoei.org/rie28a02.htm>
- Pellón González, I. (2002). *Lavoisier y la revolución química*. Anales de la Real Sociedad Española de Química, ISSN 1575-3417, N.º. 2, 2002, págs. 40-49. Consulta el 15 de junio de 2015: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=881223>
- Perales Palacios, F.J. (2008). *La Imagen en la Enseñanza de las Ciencias. Algunos Resultados de Investigación en la Universidad de Granada, España*. Formación Universitaria, ISSN-e 0718-5006, Vol. 1, N.º. 4, 2008, págs. 13-22. Consulta el 14 de junio de 2015 en: <http://www.scielo.cl/pdf/formuniv/v1n4/art03.pdf>
- Pérez, C. y Koo, R. (2011). *"Si la economía española sigue con los ajustes, le esperan dos décadas perdidas"*. (Entrevista de Claudi Pérez (@claudiperez) a Richard Koo, economista jefe del banco de inversión Nomura.) "El País", Economía, 13/10/2011. Consulta el 5 de junio de 2015: http://elpais.com/diario/2011/11/13/economia/1321138802_850215.html
- Pérez, C. y Koo, R. (2011). *"El efecto de la compra de deuda en la economía real será escaso o nulo"*. (Entrevista de Claudi Pérez (@claudiperez) a Richard Koo, econ. jefe del banco de inversión Nomura.) "El País", Economía, 17/01/2015. Consulta el 5 de junio de 2015: http://economia.elpais.com/economia/2015/01/17/actualidad/1421525764_829654.html
- Raviolo, A. (2009). *Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química*. Educación química, ISSN 0187-893X, Vol. 20, N.º. 1, 2009, págs. 55-60. Consulta el 26 de junio de 2015 en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/modelos_analogias_y_metaforas_18608.pdf
- Raviolo, A., Aguilar, A., Ramírez, P. y López, E. (2011). *Dos analogías en la enseñanza del concepto de modelo científico: Análisis de las observaciones de clase*. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, ISSN-e 1850-6666, Año 6, N.º. 1, 2011, págs. 61-70. Consultado el 1 de junio de 2015 en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/reiec/v6n1/v6n1a06.pdf> y http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-66662011000100006&script=sci_arttext
- Redondo Ciercoles, M.F y Gómez Castro, E. (2006). *La cultura científica y las ciencias para el mundo contemporáneo*. Anales de la Real Sociedad Española de Química, ISSN 1575-3417, N.º. 3, 2006, págs. 59-62. Consulta del 27 de junio de 2015: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2082942>
- Rey Gallego, Á. (2014b). *¿La idea de perfección dinamita la idea de Dios?* Post del Blog "Apuntes y Digresiones" (18/04/2014), consulta del 14 de junio de 2015: <https://angelrey.wordpress.com/2014/03/18/la-idea-de-perfeccion-dinamita-la-idea-de-dios/>
- Rey Gallego, Á. (2015a). *Consideración de algunas teorías sobre el impacto de la educación en la economía en el marco de un mundo incierto*. Post del Blog "Apuntes y Digresiones", y también como texto aportado en Academia.edu. Consultado el 1 de junio de 2015 en los siguientes sitios web: <https://angelrey.wordpress.com/2015/02/11/consideracion-de-algunas-teorias-sobre-el-impacto-de-la-educacion-en-la-economia-en-el-marco-de-un-mundo-incierto-angel-rey-gallego/> y https://www.academia.edu/10707917/CONSIDERACIONES_DE_ALGUNAS_TEORIAS SOBRE EL IMPACTO DE LA EDUCACION EN LA ECONOMIA EN EL MARCO DE UN MUNDO INCIERTO
- Rey Gallego, Á. (2015b). *Propuestas pedagógicas para impartir Física Cuántica a nivel de Bachillerato*. Academia.edu. Índice y bibliografía en el Blog "Apuntes y Digresiones" y artículo completo como texto aportado en Academia.edu, Consultas del 9 de

- juno de 2015: <https://angelrey.wordpress.com/2015/06/04/propuestas-pedagogicas-para-impartir-fisica-cuantica-a-nivel-de-bachillerato-angel-rey-gallego/>
- https://www.academia.edu/12792126/PROPUESTAS_PEDAGOGICAS_PARA_IMPACTAR_FISICA_CUANTICA_A_NIVEL_DE_BACHILLERATO
- Reyes Barcos, M. (2008). *Las analogías como estrategia de enseñanza de la física: ¿realidad o ficción?* V encuentro internacional: "Las transformaciones de la profesión docente frente a los actuales desafíos". 13/05/2008 KIPUS, Red Docentes de América Latina y el Caribe. Consultado el 1 de junio de 2015 en: <http://www.redkipusperu.org/files/15.pdf> y http://eventos.saber.ula.ve/eventos/documentos/books_abstracts/Ensenanza_de_la_Fisica.pdf
 - Rodríguez Cascante, F. (2002). *Tierno Galván, Bajtín y el pensamiento dialógico*. Revista Comunicación, año/vol. 12, número 001. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. pp 1-22. Consulta del 14 de junio de 2015 en: <http://www.redalyc.org/pdf/166/16612110.pdf>
 - Román, J.M. Carbonero, M.A. J.M. Martín-Antón, L.J. & De Frutos, C. (2010). *Docencia presencial y habilidades docentes básicas en profesorado universitario*. International Journal of Developmental and Educational Psychology, 1(4), págs. 85-96. Consulta del 9 de junio de 2015: http://www.ubu.es/sites/default/files/portal_page/files/att00007.pdf
 - Román Sánchez, J.M., Sáiz Manzanares, M.C., Alonso García, J. y De Frutos Diéguez, C. (2013). Habilidades docentes básicas y docencia motivadora en la universidad. Revista de Psicología y Educación, ISSN 1699-9517, Vol. 8, N.º. 1, 2013, págs. 109-128. Consulta del 9 de junio de 2015: http://recursos.crfptic.es:9080/jspui/bitstream/recursos/560/5/3-HDB%20y%20docencia%20motivadora%20universidad%208-HHDD_.pdf
 - Ruíz Monteleón, T. (2014). *El Bilingüismo Cañí en el Espejo de las pruebas CDI*. Blog "ESTADÍSTICA EDUCATIVA (y otros escritos) PARA TURISTAS - Comunidad de Madrid". Disponible (consulta del 25 de junio de 2015) en: <http://estadisticaeducativaparaturistas.blogspot.com.es/2014/03/el-bilinguismo-cani-en-el-espejo-de-las.html>
 - Solbes, J. y Traver, M. (1996). La utilización de la Historia de las Ciencias en la enseñanza de la Física y la Química. Enseñanza de las Ciencias, 1996, 14 (I), pp. 103-112. Consulta el 14 de junio de 2015 en: https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCUQFjAaAhUKewir64HKyYGAhUBbROKHT18AGI&url=http%3A%2F%2Fwww.raco.cat%2Findex.php%2FEnsenanza%2Farticle%2Fdownload%2F21438%2F93400&ei=xad9Vev0KoHaUb34gZAG&usq=AFOjCNEE8VLap_q2EL7z22t-wGYzylUi-A&bvm=bv.95515949.d.d24
 - Solbes, J. y Traver, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo Historia de las Ciencia en las clases de Física Y Química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. Enseñanza de las Ciencias, 2001, 19 (1), pp. 151-162. Consulta el 14 de junio de 2015 en: https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CC40FjABahUKewir64HKyYGAhUBbROKHT18AGI&url=http%3A%2F%2Fwww.raco.cat%2Findex.php%2FEnsenanza%2Farticle%2Fdownload%2F21726%2F21560&ei=xad9Vev0KoHaUb34gZAG&usq=AFOjCNHkiuEW_qLA_bsNLP57wSvEAakeTQ&bvm=bv.95515949.d.d24
 - Tomasini Bassols, A. (S.F.). Reseñas de Libros: "David Rubinstein. *Marx and Wittgenstein. Social Praxis and Social Explanation*. (London, Boston and Henley: Routledge and Kegan Paul, 1981)." - "18) *Marx and Wittgenstein. Social Praxis and Social Explanations* de David Rubinstein. Publicado en Diánoia, Número 28, 1982, México." Web de reseñas (<http://www.filosoficas.unam.mx/~tomasini/resenas.html>) de Alejandro Tomasini Bassols (<http://www.filosoficas.unam.mx/~tomasini/home.html>). (Consultas del 27 de junio de 2015).
 - Tomé López, C. (2009). *Einstein y el experimento de Michelson-Morley*. Blog "Experiencia docet", post del 16 de agosto de 2009. Consultado el 1 de junio de 2015: <http://www.experimentadocet.com/2009/08/einstein-y-el-experimento-de-michelson.html>
 - Ten Ros, A. E. (1978). *El experimento de Michelson-Morley y su influencia en los orígenes de la relatividad restringida*. Lluç: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, ISSN 0210-8615, N.º 2, 1978, págs. 42-50. Consultado el 4 de junio de 2015: <http://documat.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=61971>
 - Varoufakis, Y. (2013). *Confessions of an erratic Marxist in the mist of a repugnant European crisis*. Blog "Yanis Varoufakis. Thoughts for the post-2008 world": <http://yanisvaroufakis.eu/> Post del 10/12/2013. Consultado el 4 de junio de 2015: <http://yanisvaroufakis.eu/2013/12/10/confessions-of-an-erratic-marxist-in-the-midst-of-a-repugnant-european-crisis/> [Hay traducción al castellano: - *Confesiones de un marxista errático en medio de una crisis europea repugnante*. Revista Sin Permiso. Consulta del 4 de junio de 2015: <http://www.sinpermiso.info/articulos/ficheros/yvarou.pdf>]
 - Varoufakis, Y. (2014). *Egalitarianism's Latest Foe: a critical review of Thomas Piketty's Capital in the Twenty-First Century*. Real-world economics review, Issue no. 69, 7 October 2014. Consulta el 8 de junio de 2015 en: <http://www.paecon.net/PAEReview/issue69/Varoufakis69.pdf>
 - [Hay disponible traducción en castellano: *El Último Enemigo del Igualitarismo: una reseña crítica de "El Capital en el Siglo XXI" de Thomas Piketty. Por Yanis Varoufakis*. (20/10/2014) Rotekeil.com: <http://rotekeil.com/> Consulta el 8 de junio de 2015: <http://rotekeil.com/2014/10/24/el-ultimo-enemigo-del-igualitarismo-una-reseña-critica-de-el-capital-en-el-siglo-xxi-de-thomas-piketty-por-yanis-varoufakis/> Y el propio Yanis Varoufakis en su blog incluye más links referentes al libro de Piketty. Consulta el 8 de junio de 2015: <http://yanisvaroufakis.eu/2014/10/08/6006/>]
 - Varoufakis, Y. (2015). Yanis Varoufakis: *How I became an erratic Marxist*. "The Guardian", 18/02/2015. Consulta del 4 de junio de 2015: <http://www.theguardian.com/news/2015/feb/18/yanis-varoufakis-how-i-became-an-erratic-marxist> [Adjunto dos traducciones al castellano: 1) - *Varoufakis: Cómo me convertí en un marxista errático*. Publicado el 13 de marzo de 2015 en Iniciativadebate.org. Consulta del 4 de junio de 2015: <http://iniciativadebate.org/2015/03/13/varoufakis-como-me-converti-en-un-marxista-erratico/> y 2) - *Yanis Varoufakis: Cómo me convertí en un marxista errático*. Publicado el 19 de febrero de 2015 en Eldesconcierto.cl. Consulta del 4 de junio de 2015: <http://eldesconcierto.cl/yanis-varoufakis-como-converti-en-un-marxista-erratico/>]
 - Vázquez, K. (2012). *La memoria del lector*. "El País", Cultura, 20/05/2012. Consultado el 3 de junio de 2015: http://cultura.elpais.com/cultura/2012/05/17/actualidad/1337267542_314625.html
 - Villatoro, F.R. (2009). *¿Conocía Einstein el experimento de Michelson Morley en 1905 e influyó en su teoría?* Blog "La Ciencia de la Mula Francis". Consultado el 4 de junio de 2015 en: <http://francis.naukas.com/2009/08/14/conocia-einstein-el-experimento-de-michelson-morley-en-1905-y-le-influyo-en-su-teoria/>
 - Villatoro, F.R. (2011). *La opinión de Michelson sobre el experimento de Michelson-Morley*. Blog "La Ciencia de la Mula Francis". Consultado el 4 de junio de 2015 en: <http://francis.naukas.com/2011/08/04/la-opinion-de-michelson-sobre-el-experimento-de-michelson-morley/>

VIII.3 Recursos web

- Arxiv.org. Cornell University Library: <http://arxiv.org/>
- "Investigación y Ciencia" (web de la revista): <http://www.investigacionyciencia.es/>
- LOE. Ley Orgánica 2/2006 – BOE.es *Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación*. Consulta el 4 de junio de 2015: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-7899>
- LOMCE. – Boe.es. *Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa*. Consulta el 4 de junio de 2015: <http://www.boe.es/boe/dias/2013/12/10/pdfs/BOE-A-2013-12886.pdf>
- *Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria*. Consultado el 28 de mayo de 2015: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/524514-rd-126-2014-de-28-feb-establece-el-curriculo-basico-de-la-educacion-primaria.html
- *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. Consulta el 28 de mayo de 2015 en: <http://www.mecd.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/dms/mecd/servicios-al-ciudadano-mecd/participacion-publica/cerrados/2014/curriculo-basico/RD-curriculo-basico-ESO-Bach-Anexo-II-especificas.pdf>
- Educantabria.es. *Cultura Científica (4º ESO y 1º Bachillerato)* – Educantabria. Consulta el 28 de mayo de 2015: https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CC00FjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.educantabria.es%2Fdocs%2Finfo_institucional%2Fnormativa_legislacion%2FLOMCE%2FBorradores%2FCulturaciencia_doc&ei=fERmVf-SCyWUb6egPgN&usq=AFQjCNEEUft5HokuZpNIHOAZI2wa6rYNA&bvm=bv.93990622.d.d24
- Proyectos PROFILES y "Salters Horners":
 - "Proyecto PROFILES: <http://www.profiles.uva.es/>
 - "Salters Horners" (algunos links):
 - "University of York": <http://www.york.ac.uk/org/seg/salters/physics/>
 - "Nuffield Foundation": <http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/salters-horners-advanced-physics>
 - "Salters' Institute": <http://saltersinstitute.co.uk/course-the-salters-horners-advanced-physics/>
- Web RAE (Real Academia Española): <http://www.rae.es/>
- "Suma Teológica" Online: <http://hig.com.ar/sumat/> (consulta el 4 de Julio de 2015)
- Web "Biblioteca Campus Dominicano" ("Suma Teológica", Tomás de Aquino): <http://biblioteca.campusdominicano.org/suma.htm> (consulta el 4 de Julio de 2015)
- *Wikipedia*, artículos:
 - "Bosón de Higgs" (consulta el 15 de julio de 2015): http://es.wikipedia.org/wiki/Bos%C3%B3n_de_Higgs
 - "Ciencia ciudadana" (consulta el 5 de Julio de 2015): http://es.wikipedia.org/wiki/Ciencia_ciudadana
 - "Diagrama de Feynman" (consulta el 11 de Julio de 2015): http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Feynman
 - "Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo" (consulta el 3 de Julio de 2015): http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%A1logos_sobre_los_dos_m%C3%A1ximos_sistemas_del_mundo
 - "Escándalo Sokal" (consulta el 26 de junio de 2015): https://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ndalo_Sokal
 - "Estudios de ciencia, tecnología y sociedad" (consulta el 1 de junio de 2015): http://es.wikipedia.org/wiki/Estudios_de_ciencia_tecnolog%C3%ADa_y_sociedad
 - "Ley Que Ningún Niño Se Quede Atrás" (consulta del 9 de julio de 2015): http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_que_ning%C3%BAn_ni%C3%B1o_se_quede_atr%C3%A1s
 - "List of citizen science projects" (consulta el 5 de Julio de 2015): http://en.m.wikipedia.org/wiki/List_of_citizen_science_projects
 - "Mayéutica" (consulta el 2 de Julio de 2015): <http://es.wikipedia.org/wiki/May%C3%A9utica>
 - "Método científico" (consulta el 4 de Julio de 2015): http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_cient%C3%ADfico
 - "Modelo estándar de física de partículas" (consulta el 15 de julio de 2015): http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas
 - "STEM" (consulta del 1 de Julio de 2015): <http://es.wikipedia.org/wiki/STEM>

VIII.4 Películas, cómics y material audiovisual vario. Miscelánea

VIII.4.1 Películas¹⁶³

- "2001: Una odisea en el espacio" ("2001: A Space Odyssey", Director: Stanley Kubrick, 1968).
- "21 Black Jack" ("21: Blackjack", Dir.: Robert Luketic, 2008).
- "Ágora" ("Ágora", Dir.: Alejandro Amenábar, 2009).
- "Apolo 13 (Apolo XIII)" ("Apollo 13", Dir.: Ron Howard, 1995). Disponible online (consulta del 3 de junio de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=ia0AJqTbzvI>
- "Atmósfera cero" ("Outland", Dir.: Peter Hyams, 1981). Disponible online (consulta del 3 de junio de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=kcBVG8dFbNg>
- "Blaise Pascal" ("Blaise Pascal", Dir.: Roberto Rossellini, 1972). Disponible online (consulta del 24 de junio de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=C3fhX3q0-SQ>
- "Contact" ("Contact", Dir.: Robert Zemeckis, 1997).
- "Cosmos" ("Cosmos (TV Series)", Creator: Carl Sagan, 1980). Disponible online (consulta del 24 de junio de 2015) en:

¹⁶³ Por la índole especial que tiene este tipo de fuentes (disponibilidad; actualidad o vigencia dramática, científica o estética; etc.), puede ser útil ordenarlas cronológicamente. Indicamos el recurso online siempre que se haya encontrado disponible.

- https://www.youtube.com/watch?v=vMCMwk8cfuw&list=PLzi4Ya_8PzIuc4HoT9xH9TPHs7BpOq3n5
- “Desafío total” (“Total Recall”, Paul Verhoeven, 1990). Disponible online –previo pago– (consulta del 3 de junio de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=qdgHa4yakTk>
 - “Descartes” (“Cartesius”, Dir.: Roberto Rossellini, 1974). Disponible online (consulta del 24 de junio de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=tLt1NoVfaUU&list=PL7E974D386ACDFFB9>
 - “Einstein” (“Einstein y Eddington”, Dir.: Philip Martin, 2008). Clip escogido de la analogía de la manta, pan y las piezas de fruta (consulta el 9 de junio de 2015): <https://www.youtube.com/watch?v=8xwGE1oUoSU>
 - “Gravity” (“Gravity”, Alfonso Cuarón, 2013).
 - “Hawking” (“Hawking”, Dir.: Philip Martin, 2004).
 - “Interstellar” (“Interstellar”, Dir.: Christopher Nolan, 2014). Disponible online (consulta del 1 de junio de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=pUt62witOdc>
 - “L’età di Cosimo de Medici” (“L’età di Cosimo de Medici”, Roberto Rossellini, 1973) (miniserie en tres capítulos).
 - “La herencia del viento” (“Inherit the Wind”, Dir.: Stanley Kramer, 1960). Disponible online (consulta del 24 de junio de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=AI76wUhFxrK&list=PL50EA21F54B3C371F>
 - “La vida de Galileo” (“Galileo”, Dir.: Joseph Losey, 1974; basada en la obra teatral de Bertold Brecht). Disponible online (consulta del 24 de junio de 2015) en: https://www.youtube.com/watch?v=w1l_2RsH-c
 - “La otra cara de Dios” (“Stealing Heaven”, Dir.: Clive Donner, 1988).
 - “La toma del poder por parte de Luis XIV” (“La prise de pouvoir par Louis XIV”, Roberto Rossellini, 1966).
 - “Ramón Llull: ciencia y acción” (“Ramón Llull: ciencia i acció”, Josep Oller, 2003 –1994–, Fundació Videoteca dels Països Catalans. Videoteca Catalana).
 - “Sócrates” (TV) (“Socrate”, Dir.: Roberto Rossellini, 1971). Disponible online (consulta del 28 de mayo de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=qixfEOavcqE>
 - “Scoto, el defensor de la Inmaculada” (“Duns Scoto”, Dir.: Fernando Muraca, 2011). Disponible online (consulta del 28 de mayo de 2015) en: <https://youtu.be/OqGXiEOSdLM?list=PLjUcZk6FDjSrhF0IC6Y8nrxn15PJGHnWt>
 - “Una mente maravillosa” (“A Beautiful Mind”, Dir.: Ron Howard, 2001).
 - “Wittgenstein” (“Wittgenstein”, Dir.: Derek Jarman, 1993). Disponible online (consulta del 3 de junio de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=llu7OJo38eo> [Selección “Ludwig Wittgenstein. Sobre el lenguaje” disponible (y consultada el 1 de junio de 2015) en: https://www.youtube.com/watch?v=XaNxOqTz_Bs]

VIII.4.2 Cómicos

- Balbi, A. y Piccioni (2014). *Cosmicómic. El descubrimiento del Big Bang*. Barcelona: Salamandra.
- Doxiadis, A. y Papadimitriou, C.H. (2009). *Logicomix. An Epic Search for Truth*. New York (USA): Bloomsbury. [Hay traducción en castellano: Doxiadis, A. y Papadimitriou, C.H. (2011). *Logicomix. Una búsqueda épica de la verdad*. Madrid: Sins Entido.]
- Hergé (1986, 11ª ed.). *Objetivo: la luna*. Barcelona: Juventud.
- Hergé (1999, 20ª ed.). *Aterrizaje en la Luna*. Barcelona: Juventud.
- Ottaviani, J. y Myrick, L. (2012). *Feynman*. Barcelona: Norma.
- Web “Fumettologica Magazine”: <http://www.fumettologica.it/> donde encontramos una pequeña galería de imágenes –en italiano– de “Cosmicómic” de Balbi y Piccioni (2014) en *Cosmicomic. Gli uomini che scoprirono il big bang*: <http://www.fumettologica.it/galleria/cosmicomic-gli-uomini-che-scoprirono-il-big-bang/nggallery/image/028-copia/>

VIII.4.3 Otros

- Links y webs personales (consultas del 5 de junio de 2015):
 - “Miriam Álvarez Doreste” (Cuenta Twitter: @Dorestilla): Blog “El café Guerbois”: <http://elcafeguerbois.blogspot.com.es/>
 - “Sixto J. Castro Rodríguez”: Uva (Universidad de Valladolid): <http://sixtojosecastro.blogs.uva.es/> Blog: <http://bitacoraveritas.dominicos.org/>
 - “José García Domínguez” (@jg_dominguez): <http://www.libertaddigital.com/opinion/jose-garcia-dominguez/>
 - “Alfredo Marcos Martínez”: <http://www.fyl.uva.es/~wfilosof/webMarcos/>
 - “Rubén Osuna Guerrero” (@rosuna72): <http://www.uned.es/personal/rosuna/rosuna.htm> (algunos recursos recomendados aquí: <http://www.uned.es/personal/rosuna/resources/resources.htm>)
 - “Miguel Ángel Quintana Paz” (@quintanapaz): <http://quintanapaz.es/>
 - “Rodrigo Villalobos García”: <http://uva-es.academia.edu/RodrigoVillalobosGarcia>
- Programas de televisión o de radio (consultas del 25 de junio de 2015):
 - “El Búho” (Radio Siglo XXI): <http://www.radio4g.com/r4g-podcasts/el-buho>
 - “La Clave” (tertulia moderada por José Luis Balbín): Programa con el tema “Otros mundos, otras vidas” (emitido en abril de 1993) (Antena 3, España). Disponible (consulta del 26 de junio de 2015) en: <https://www.youtube.com/watch?v=NI-JD23i3sk> y <https://www.youtube.com/watch?v=zRpu51vIFXE>
- Referencias de la cita inicial de Chicho Sánchez Ferlosio (“El Ser”): Canción “El Ser”, de Chicho Sánchez Ferlosio, contenida en el disco “A contratiempo”, LP (Dial discos ND 5.016, 1978); CD (Diapasón, 2007).
 - Referencias discográficas obtenidas en el Blog “Pueblo de España, ponte a cantar” (2011), *Las canciones de Chicho Sánchez Ferlosio en Europa II*, 1 de diciembre de 2011. Consulta el 1 de junio de 2015: <http://pueblodeespana.blogspot.com.es/2011/12/las-canciones-de-chicho-sanchez.html>
 - Letra completa disponible en el Blog “La cueva del dinosaurio” (2006), *El Ser. Chicho Sánchez Ferlosio*, 28 de noviembre de 2006. Consulta el 1 de junio de 2015: <http://lacuevadeldinosaurio.blogia.com/2006/112801-el-ser-chicho-sanchez-ferlosio..php> [También está disponible la letra en Sánchez Ferlosio (2008, pp. 69-70).]
 - Audio de la canción disponible en “Chicho Sánchez Ferlosio – El Ser” (Youtube). Consulta el 1 de junio de 2015: <https://www.youtube.com/watch?v=qS1Hvyg2Gw4>